



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut  
Maaehituse ja veemajanduse õppetool

**Mikk Kütt**

**TAASISESEISVUNUD EESTI AJAL (1991-2007) EHITATUD  
PUITKARKASSELAMUTE SEISUKORD JA  
RENOVEERIMISE VÕIMALUSED**

**TECHNICAL SITUATION AND POSSIBILITIES OF  
RENOVATING TIMBER FRAMEWORK HOUSES BUILT IN  
ESTONIA AFTER REGAINED INDEPENDENCE (1991-2007)**

Magistritöö  
Maaehituse õppekava

Juhendajad: nooremteadur Martti-Jaan Miljan, MSc  
spetsialist Matis Miljan, BSc

Tartu 2019

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Mikk Kütt		Õppekava: Maaehitus	
Pealkiri: Taasiseseisvunud Eesti ajal (1991-2007) ehitatud puitkarkassellamute seisukord ja renoveerimise võimalused			
Lehekülgi: 72	Jooniseid: 54	Tabeleid: 10	Lisasid: 2
Õppetool:	Maaehituse ja veemajanduse õppetool		
Uurimisvaldkond:	T220, tsiviilehitus		
Juhendaja(d):	Nooremteadur Martti-Jaan Miljan MSc, spetsialist Matis Miljan		
Kaitsmiskoht ja -aasta:	Tartu, 2019		
<p>Taasiseseisvunud Eesti aja alguses alustasid paljud pered oma elamu ehitusega. Ehitati kättesaadavate materjalidega, omamata piisavaid teadmisi ehitusvaldkonnast.</p> <p>Käesoleva lõputöö eesmärgiks on uurida taasiseseisvunud Eesti ajal ehitatud puitkarkassellamute sisekliimat ning tehnilist seisukorda. Vastavalt tulemustele pakkuda elanikele välja näpunäiteid elamute sisekliima ning tehnilise seisukorra parendamiseks.</p> <p>Magistritöö raames uuriti ning analüüsiti hoonete sisekliima parameetreid. Teostati termografeerimine kahes etapi. Esimeses etapis uuriti külmasildu, teises õhulekkekoht. Veel uuriti BlowerDoori seadmetega hoone õhupidavust ning teostati hoone tehnilise seisukorra hindamine. Lisaks katsetele viidi läbi elanike seas küsitlus, mille eesmärk oli teada saada hoone kasutamise käigus tekkinud tähelepanekuid. Samuti paluti elanikel hinnata hoone sisekliima kvaliteeti.</p> <p>Teostatud testide, vaatluste ning küsitluse käigus saadi majade seisukorra kohta põhjalik ülevaade. Kolme uuritud hoone puhul oli selgesti eristatav nende tehniline seisukord. Ühe hoone puhul olid sisuliselt kõik näitajad oluliselt paremad kui teistel. Teiste hoonete puhul oli ühel hoonel oluliselt parem tehniline seisukord, teisel seevastu paremad sisekliima tingimused, mis olid tingitud märksa moodsamast küttesüsteemist.</p> <p>Vastavalt testide tulemustele esitati hoonete probleemsemate osade seisukorra parendamiseks erinevaid näpunäiteid. Samuti pakuti välja välisseinte erinevaid konstruktsioonilahendusi, et parandada hoonete soojuspidavust.</p> <p>Testide tulemusi tutvustati elanikele, räägiti probleemide põhjustest ning potentsiaalsetest tagajärgedest. Lisaks said elanikud näpunäiteid, kuidas ning mis järjekorras planeerida oma elupaigas edasisi töid.</p>			
Märksõnad: sisekliima, tehniline seisukord, renoveerimine, puitkarkasshoone,			



Estonian University of Life Sciences		Abstract of Master's Thesis	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Author: Mikk Kütt		Speciality: Civil Engineering	
Title: Technical situation and possibilities of renovating timber framework houses built in Estonia after regained independence			
Pages: 72	Figures: 54	Tables: 10	Appendixes: 2
Department:		Chair of Rural Building and Water Management	
Field of research and (CERC S) code:		Civil Engineering, T220	
Supervisors:		Junior Researcher Martti-Jaan Miljan MSc, Specialist Matis Miljan	
Place and date:		Tartu, 2019	
<p>At the beginning of the newly independent Estonia, many families started building their own dwellings. They built with available materials without enough knowledge of construction.</p> <p>The aim of this thesis is to study the indoor climate and technical condition of timber framework houses built during the re-independence of Estonia. As well as according to the results of the study to provide the residents with tips to improve the indoor climate and technical condition of the dwellings.</p> <p>The Master's thesis examined and analyzed the indoor climate parameters of the buildings. Thermography was performed in two stages. Thermal bridges were examined during the first stage, and air leakages during the second stage of thermography. BlowerDoor's equipment was used to examine airtightness of buildings. Technical conditions of buildings were also assessed. In addition to the tests, a survey was carried out among residents to find out observations made during the use of buildings. The residents were also asked to assess the quality of indoor climate.</p> <p>A thorough overview of the condition of the houses was made during tests and surveys. It was possible to clearly distinguish the technical condition of the three examined buildings. In the case of one building, all results were substantially better than the others. In case of the buildings, one of them had a much better technical condition, while the other had better indoor climate conditions due to the much more modern heating system.</p> <p>According to the test results, various tips were provided to improve the conditions of problematic constructions of buildings. Various construction design solutions for external walls were also proposed to improve thermal performance.</p> <p>The results of the tests were introduced to the residents, causes of problems and potential consequences were discussed. In addition, residents got tips on how and in what order to plan further works in their buildings.</p>			
Keywords: indoor climate, technical situation, renovating, timber framework			

# SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	6
1. VARASEMALT TEOSTATUD SARNASED UURINGUD NING TAASISEISESVUNUD EESTI AJAL E HITATUD HOONETE TÜÜPKONSTRUKTSIOONID .....	8
1.1. Varasemalt teostatud sarnased uuringud.....	8
1.2. Puitkarkasshoonete ehitus taasiseseisvunud Eesti aja algusaegadel .....	8
1.2.1. Puidu kasutamine ehituses .....	8
1.2.2. Soovituslikud seinakonstruktsioonid .....	9
1.2.3. Puitseinad .....	12
1.2.4. Põrandad .....	14
1.2.5. Vahelaed .....	15
2. UURITAVATE HOONETE KIRJELDUS .....	17
2.1. Hoone 1 .....	18
2.2. Hoone 2 .....	19
2.3. Hoone 3 .....	20
3. METOODIKAD .....	22
3.1. Elanike küsitlus .....	22
3.2. Sise -ja väliskliima .....	22
3.2.1. Sisekliima nõuded .....	22
3.2.2. sisekliima klassid .....	23
3.2.3. Metoodika .....	24
3.2.4. Kontrolltsoon .....	25
3.3. Piirdetarindite õhupidavus .....	27
3.3.1. Katse läbiviimine .....	27
3.4. Termograafia .....	29
3.4.1. Külmasildade kriitilisuse hindamine .....	30
3.5. Hoone tehniline seisukord .....	31
4. MÕÕDISTUSTE JA HINNAGUTE TULEMUSED .....	33
4.1. Elanike küsitlus .....	33

4.1.1.	Hoone 1 .....	33
4.1.2.	Hoone 2 .....	34
4.1.3	Hoone 3 .....	35
4.2.	Sise- ja väliskliima parameetrid.....	36
4.3.	Piirete õhupidavus.....	39
4.4.	Termograafia.....	40
4.4.1.	Külmasildade leidmine .....	40
4.4.2.	Õhulekete tuvastamine .....	45
4.5.	Hoone tehniline seisukord .....	48
4.5.1.	Hoone 1 .....	48
4.5.2.	Hoone 2 .....	51
5.	ETTEPANEKUD HOONE TEHNILISE SEISUKORRA PARENDAMISEKS .....	54
5.1.	Parendatud konstruktsioonid .....	54
5.1.1.	Hoonete esialgsed konstruktsioonid .....	54
5.1.2.	Hoonete parendatud konstruktsioonid .....	57
5.2.	Üldised ettepanekud.....	61
	KOKKUVÕTE .....	63
	KASUTATUD KIRJANDUS .....	65
	LISAD .....	67

## SISSEJUHATUS

21. sajandi teist aastakümnet iseloomustab linnastumine. Eesti elanikud soetavad oluliselt rohkem elamispindu linnades asuvatesse korterelamutesse. Selgelt aktiivseim sektor kinnisvaraturul on hetkel korterelamute turg. 20. sajandi viimasel aastakümnel oli Eesti perede suureks sooviks oli omada individuaalelamut. Suur osa eestlasi selle unistuse ka teoks tegid, ehitades endale oma kätega elumajad.

Aastatuhande vahetuse ajal ehitatud majade ehitusperioodi pikkus oli oluliselt suurem, kui praegusel hetkel ehitatavate majade puhul. Selle ajaperioodi aeglase ehitusprotsessi peamiseks põhjusteks võib pidada materjalide defitsiiti, töömahukate projektide kasutamist ning kindlasti inimeste vähest teadlikkust ehitusest.

Pikk ehitusperiood toob kaasa endaga erinevaid probleeme, mistõttu on selle magistritöö eesmärgiks uurida taasiseseisvunud Eesti ajal ehitatud puitkarkasselamute seisukorda, analüüsida saadud tulemusi ning vastavalt tulemustele anda elanikele soovitusi hoone seisukorra parendamiseks.

Töö on jaotatud viite peatükki. Esimene peatükk sisaldab ülevaadet 90ndatel kättesaadavate õppematerjalide ning raamatute põhjal välja pakutud ehituskonstruksioonide ülevaastust. Teises peatükis on tutvustatud uuritavaid hooneid. Välja on toodud hoonete olulisemad tehnilised näitajad. Kolmas peatükk kirjeldab põhjalikult lõputöös kasutatavaid meetodikaid. Neljas peatükk sisaldab testide, hindamise ja küsitluste analüüsi, analüüsid on teostatud nii üldiselt kui ka hoonete kaupa eraldi. Viiendas peatükis esitatakse ettepanekuid hoone seisukorra parendamiseks. Suuremat tähelepanu pööratakse konstruksioonidele ning probleemidele, mis otseselt mõjutavad hoone sisekliimat.

Elanike hinnangute saamiseks oma elupaiga kohta viiakse nende seas läbi küsimustik. Küsimustik on koostatud eesmärgiga teada saada hoone ajalugu, hoone kasutamise käigus tehtud tähelepanekuid ning saada nende poolseid hinnanguid hoone sisekliimast.

Sise- ja väliskliima parameetrite mõõtmiseks paigaldatakse andmesalvestajad nii hoonetesse kui ka hoone lähiümbrusesse. Mõõdetakse temperatuuri ning suhtelist õhuniiskust. Saadud tulemusi analüüsitakse ning tulemuste paremaks edasi andmiseks tehakse vastavad diagrammid.

Välispiirete õhupidavuse analüüsimiseks tehakse katsed BlowerDoor mõõteseadmega. Katsed tehakse ala- ning ülerõhu all.

Hooneid termografeeritakse kahes etapis. Esimene etapp sisaldab endas normaaltingimustes termografeerimist, mille käigus tuvastatakse hoone külmasillad. Külmasildade juures arvutatakse temperatuuriindeks, et tuvastada kohti, kus on oht veeauru kondenseerumisele ning hallituse tekkele. Teises etapis toimub termografeerimine alarõhu all olevas hoones. Alarõhu all tuvastatakse hoone õhulekkekohad.

Hoone tehnilise seisukorra hindamisel teostamisel toetutakse lisaks visuaalsele ülevaatusle ka testides saadud tulemustele. Vastavalt konstruktsioonide seisukorrale määratakse neile kulumi protsent. Mis lõpuks vastavalt konstruktsiooni osatähtsusele kokku võetakse ning üldise füüsilise kulumi protsendina esitatakse.

Siinkohal tänab autor lõputöö juhendajat hea juhendamise ning alati piisava tagasiside andmise eest. Lisaks suur aitäh hoonete elanikele, et võimaldasite endi hoonetes läbi viia erinevaid katseid.

# **1. VARASEMALT TEOSTATUD SARNASED UURINGUD NING TAASISESEISVUNUD EESTI AJAL EHITATUD HOONETE TÜÜPKONSTRUKTSIOONID**

## **1.1. Varasemalt teostatud sarnased uuringud**

Varasemalt on teostatud mitmeid sarnaseid uuringuid. Tehtud on uuringuid nii lõputööde raames kui ka eratellijate poolt tellitud töid. Teostatud avalike uuringute käigus ei ole see-eest kordagi uuritud taasiseseisvunud Eesti ajal ehitatud puitkarkasskonstruktsiooniga väikeelamute tehnilist seisukorda. Aastal 2017 tegi Mihkel Vitsut lõputöö „Tellis- ja suurplokk korterelamute ehitustehnilise seisukorra hindamine ja korterite sisekliima renoveerimiseelne mõõtmine“. Sihtasutuse KredExi tellimusel on teostatud uuring teemal „Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“. Samuti on aastal 2011 MTÜ Vanaajamaja tellimusel läbiviidud uuring „Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I“

Kõik eelpool nimetatud uuringud on väiksemal või suuremal määral sarnased käesoleva lõputööga. Käesoleva lõputöö ülesehitusel on eelpool nimetatud uuringutest inspiratsiooni otsitud. Kasutatud on olulisel määral samu toimivaid meetodeid – kohati antud lõputöö jaoks kohendatult.

## **1.2. Puitkarkasshoonete ehitus taasiseseisvunud Eesti aja algusaegadel**

Käesolev peatükk sisaldab taasiseseisvunud Eesti algusaegadel lihtrahvale kättesaadavate raamatute põhjal välja pakutud konstruktsioone, nende kirjeldusi ning soojakadude iseloomustusi.

### **1.2.1. Puidu kasutamine ehituses**

Puit on piisavalt tugev ning kergesti töödeldav materjal. Seetõttu on puidu kasutamine ehituses olnud läbiaegade väga populaarne. Puidu survetugevus pikikiudu on võrdeline betooniklassiga Mark 300, mis tänapäevase tähistuse puhul vastaks betooniklassile C25/30 [20]. Puidu survetugevus on põikikiudu viis korda väiksem kui pikikiudu. Võrreldes puitu terasega, on teras puidust 15 kuni 30 korda tugevam, see-eest 15 korda raskem, mistõttu ei ole metalli kasutamine väikeehitiste peamise kandva konstruktsioonina kasulik. [2]



Puidu peamiseks puudusteks peale tuleohtlikkuse on niiskes keskkonnas kasutamisel halb säilivusvõime. Puidul on omadus endasse imada vett – seda nii vihmavee kui ka õhuniiskuse näol. Seetõttu on puit kerge mädanema minema, kui sel puudub võimalus kuivada. Konstruktsioonis kasutuses olev puit, mis on ilma igasuguse kaitseta, pehastub kümne aastaga. Kokkupuutel maapinnaga – veel kiiremini. [2]

Kandekonstruktsioonides peab olema kasutusel vaid okaspuitu – kuuske või mändi. Erinevalt lehtpuidust on okaspuidul võime säilida külmas kütmata hoones. [2]

Puit on üsna kallis materjal, mistõttu jagatakse see defektide ja oksakohtade järgi kolme klassi. Ehitusel ei olnud peale fermide ning laetalade II-sordi puitmaterjali kasutamise nõudele teisi erilisi nõudeid. Tabelis 1 on välja toodud väikeelamutes kasutatavate puitmaterjalide põhilised ristlõiked [2]

**Tabel 1.** Puitelementide peamised ristlõiked. [2]

<b>Ristlõike suurus (mm)</b>	<b>Kasutusala</b>
<b>50x100</b>	Katuse pennid, seinakarkassi postid ja vöölaudad
<b>40x120, 50x150</b>	Seinakarkassi postid, pennid, sarikad
<b>40x150</b>	Diagonaalid ja laudsõrestikvööd
<b>50x200, 50x250, 75x200, 75x250</b>	Laetalad
<b>19x100, 22x100, 25x100</b>	Puitsõrestikseinte ja lagede vooder
<b>32x100, 40x100</b>	Põrandakatted ja põrandalaagid
<b>40x50, 50x50</b>	Katuse roovid ja voodri aluslatid

Kõik tabelis 1 toodud ristlõikeid on vähimad, mida antud kasutuselal kasutada võis. Tuleb välja tuua, et ristlõiked on antud vaid tugevusarvutuste pealt, arvesse ei ole võetud soojapidavuse täitmiseks esitatavaid nõudeid. [2]

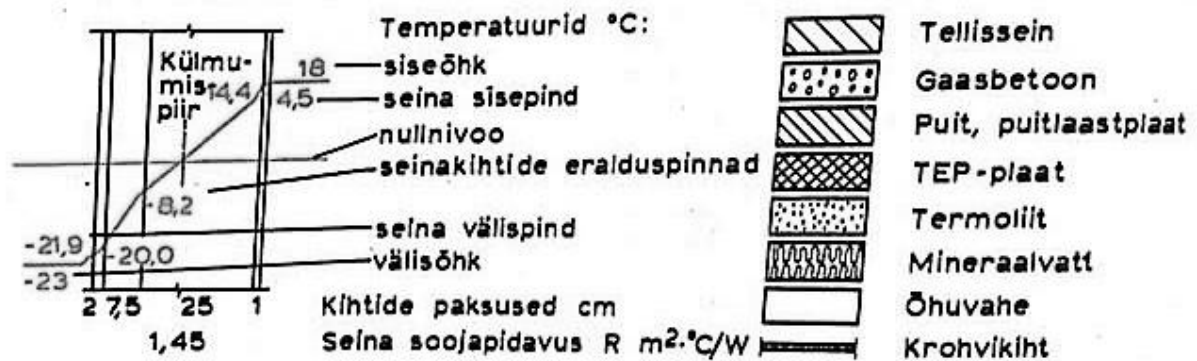
Kui soojustusmaterjal vajab suuremat seinapaksust kui tabelis 1 välja toodud seinakarkass võimaldab, siis võib karkassiks kasutada suurema ristlõikega saematerjali, näiteks 50x200 mm ristlõikega poste. Samuti on võimalik seinapaksuse suurendamiseks naelutada sõrestikpostidele rõhtlatte ristlõikega 50x50 mm, 40x80 mm jpm. [2]

### **1.2.2. Soovituslikud seinakonstruktsioonid**

Uue Eesti Vabariigi alguses oli väikeelamute seinakonstruktsiooni soojapidavuse nõue vähemalt  $2,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , mis teeb tänapäeval kasutuses olevaks U-arvuks  $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

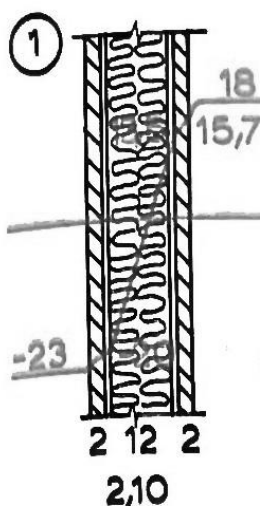
Joonistel 2-5 on välja toodud ajastu miinimumnõudeid täitvad konstruktsioonide ristlõiked, joonisel 1 on välja toodud kasutatud tingmärkide seletused. [2]

Joonistel 1-5 esitatud temperatuurid on toodud kraadides Celsiuse järgi ( $^{\circ}\text{C}$ ) ja kihtide paksused sentimeetrites.



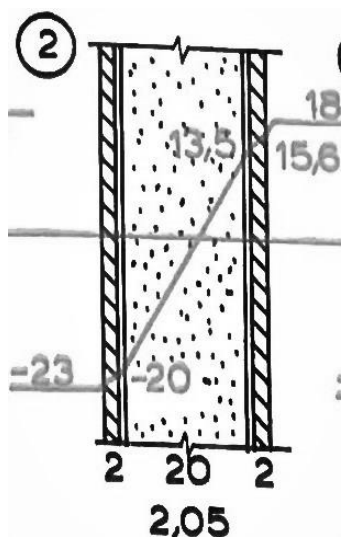
**Joonis 1.** Seinakonstruktsiooni tingmärgid. [2]

Joonisel 2 on kujutatud puitsõrestikseina ristlõike, mis täitis selleaegse U-arvu nõude. Mineraalvillaga soojustatud sein puhul piisas 120mm paksusest soojustuse kihist, et saavutada U väärtuseks  $0,48 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . [2]



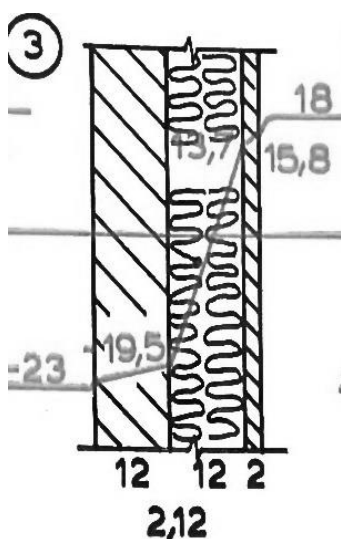
**Joonis 2.** Puitsõrestiksein mineraalvillaga soojustatud,  $U = 0,48 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . [2]

Joonisel 3 kujutatud puitsõrestikseina on soojustatud termoliidiga. Termoliidiga soojustatud sein puhul peab olema soojustuse kihi paksus 200 mm. 200 mm paksuse soojustusega tuli hoone sein  $U$  väärtuseks  $0,49 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . [2]



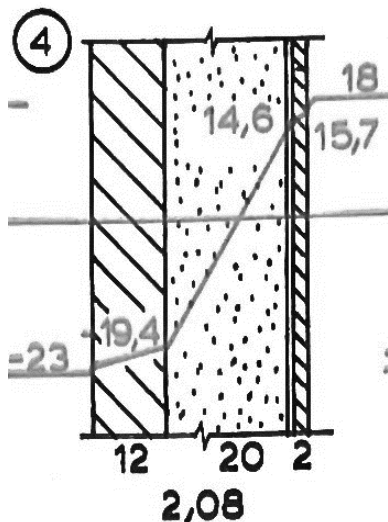
**Joonis 3.** Puitsõrestiksein termoliidiga soojustatud,  $U = 0,49 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . [2]

Joonisel 4 kujutatud Nõmme sein konstruktsiooniks on 120 mm mineraalvillaga soojustatud puitkarkass sein, mida väljast katab 120 mm paksune tellissein. Antud konstruktsioon on väljapakututest parima  $U$  arvuga  $-0,47 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  [2]



**Joonis 4.** Nõmme sein  $U = 0,47 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . [2]

Joonisel 5 on kujutatud Harju sein. Harju seinal on 200 mm vertikaalne puitkarkass sõrestik, mis on seest soojustatud täies mahus termoliidiga ning väljast viimistletud tellisvoodriga. Selline konstruktsioon annab sein  $U$  väärtuseks  $0,48 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . [2]



**Joonis 5.** Harju sein  $U = 0,48 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . [2]

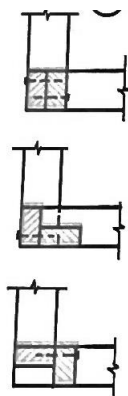
### 1.2.3 Puitseinad

Puitsõrestikseina näol on tegemist väikeelamute kõige väiksema vaevaga tehtava kandeseinaga. Sõrestiksein koosneb nii vertikaalsetest postidest kui ka horisontaalselt asetsevatest aluspuudest ja vöölaudadest. Seinte ruumilise jäikuse saavutamiseks on oluline, et igas seinas oleks diagonaal. Diagonaaliks võib olla kas diagonaallaudis või kaldtugi. Seina sõrestik seotakse lõpuks laetalade ning sarikatega. [2]

Sõrestiku postide eesmärk on kanda hoone raskust. Postide nõutav samm on seotud voodri konstruktsiooniga. Postide samm võib olla kuni meeter, kui kasutatakse rõhtvoodrit paksusega 25 mm. Kui aga kasutatakse puitlaastudest voodrit, siis on nõutav samm 50 kuni 75 mm. 1- kuni 2 korruselise hoone puhul piisab, kui kasutada posti mõõtudega 50x100 mm. Tähtis on nõtkumise vältimiseks fikseerida posti keskkoh. Fikseerida saab kas rõhtlattide või voodrilaudadega. Üksiku seina puhul tuleb see-eest kasutada oluliselt suurema ristlõikega posti – lubatud minimaalne on 100x100 mm. [2]

Postid toetuvad alt aluspuule ning ülevalt on seotud vöölauaga. Akende paigaldamiseks paigaldatakse lisaks vertikaalsed lauad, mille suurus võib samuti olla 50x100 mm. [2]

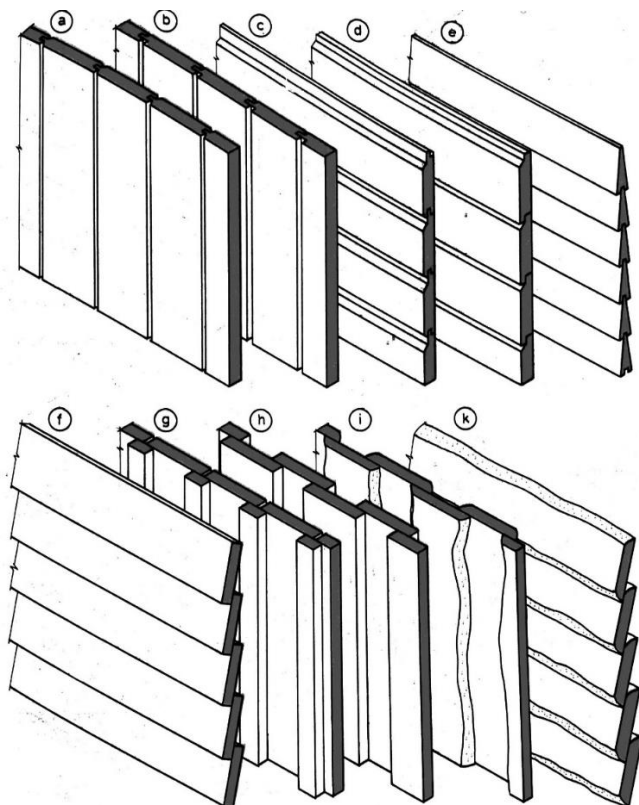
Nurgaposti moodustamiseks kasutatakse kahte 50x100mm prussi, mis omavahel ühendatakse. Erinevad nurgapostide lahendused on toodud joonisel 6. [2]



**Joonis 6.** Nurgapostide erinevad variandid. [2]

Hoone välisvoodrina kasutada nii rõhtlaudist kui ka püstlaudist. Püstlaudise puhul on tarvis paigaldada enne rõhtlatid, rõhtlaudise saab paigaldada otse karkassipostide külge. [2]

Fassaadilaudise valikul tuleb arvestada isiklike eelistusi. Kasutada võib nii hõõveldatud kui ka hõõveldamata fassaadilaudist. Hõõveldatud laudadelt voolab vesi kergemini maha, kui hõõveldamata laudadelt, see-eest on hõõveldamata laudad oluliselt soodsamad ega ole sugugi halvemad. Lisaks eelpool mainitule võib kasutada servamata laudu (joonis 7, i ja k). Erinevad laudvoodri tüübid on välja toodud joonisel 7. [2]

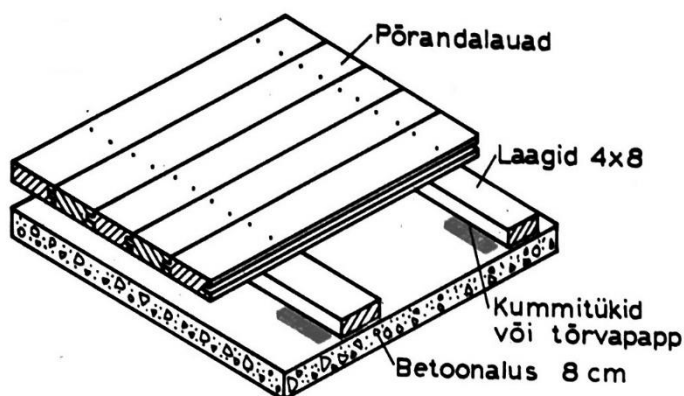


**Joonis 7** Fassaadilaudis: a,b,c - hõõveldatud sulundlaudis; d - hõõveldatud poolsulundlaudis; e - sindli ristlõikega laudis; f - servatud laudis; g - hõõveldamata laudadest ja lattidest laudis; h - hõõveldamata laudadest laudis; i, k - hõõveldamata ja servamata laudadest laudis.

#### 1.2.4. Põrandad

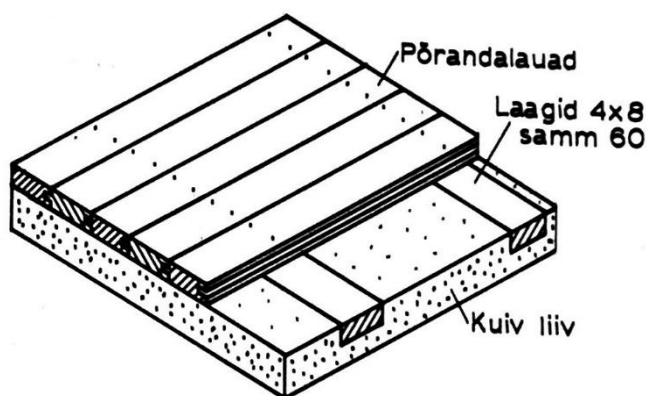
Hoone põrandakonstruktsioon sõltub sellest, kas ta toetub pinnasele või on pinnasest õhkvahega eraldatud. Pinnasele toetuv põrand võimaldab kasutada konstruktsioonelementidena raskeid materjale, näiteks betoon. Õhuvahega põranda puhul on võimalik teha vaid kergetest materjalidest põrandaid. Kasutada saab puitlaastplaate, parketti ning laudu. [2]

Põranda alla pinnasesse tambitakse 30-40 mm paksune killustiku kihti. Sobilikum põrandaalune kiht on liiv. Põranda alune kiht tehakse üldjuhul kas 80 mm betoonist (joonis 8). [2]



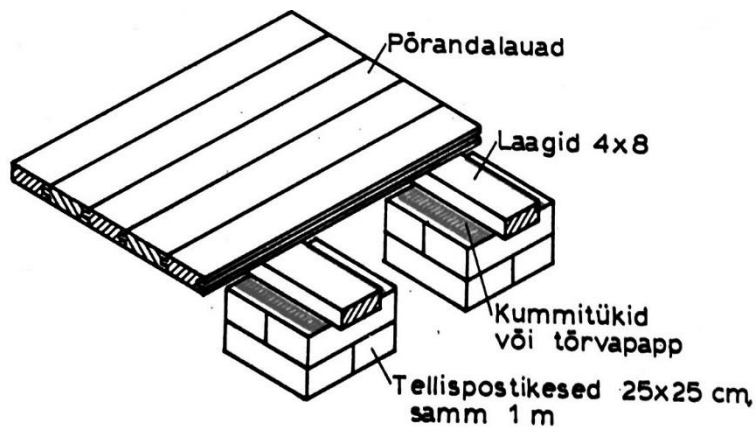
**Joonis 8.** Betoonalusel laudpõrand.

Betooni võib asendada ka tihendatud liivaalusele (joonis 9) või tihendatud kruusa kihiga aluspinnale (Joonis 10). [2]



**Joonis 9.** Liivalusega laudpõrand. [2]

Puittalade toestamiseks võib ehitada tellistest postid (joonis 10). [2]



**Joonis 10.** Tellistest postidele toetuv laudpõrand. [2]

Sellised lahendused toimivad vaid juhul, kui hoones elatakse aastaringselt sees. Vastasel juhul koguneb talveperioodil põranda alla niiskus ning selle mõjul hakkavad puidust konstruktiivsed osad mädanema. [2]

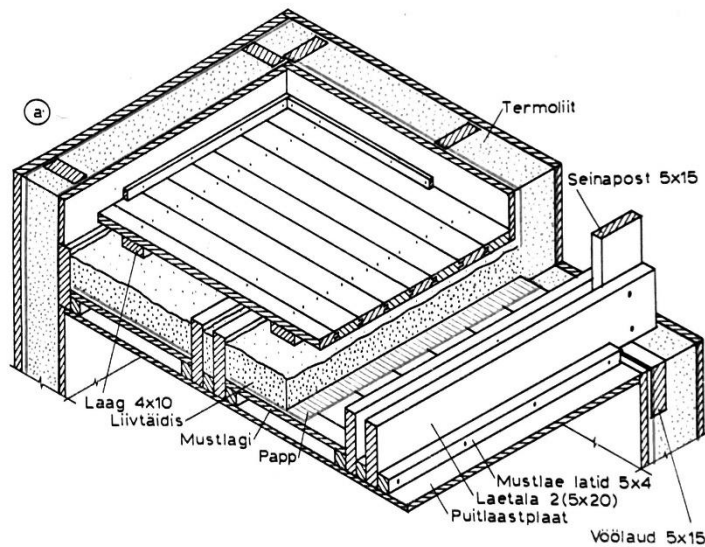
#### **1.2.5. Vahelaed**

Vahelagi on hoone kandev konstruktsioon, mis on ühe korruse lagi, teise põrand. Elamutes on kolme tüüpi vahelagesid: pööningu vahelagi, korruse vahelagi, keldri vahelagi.

Keldri vahelagi tehakse üldjuhul monoliitne või raudbetoonpaneelidest. Keldri vahelaele konstruktsiooni puhul tuleb arvestada niiskuse liikumise suunda. Keldri vahelae puhul tuleb paigaldada aurutõke vahelae peale. Soojustada võib kergbetooniga, näiteks keramsiitbetooniga, veel võib kasutada saepurubetooni. Soojustuskihi sisse paigaldada laagid, mille peale saab kinnitada põrandalauad. [2]

Erinevalt keldri- ja pööningu vahelaest ei ole korruse vahelae puhul oluline selle soojapidavus. Vahelae puhul on tähtsaimaks omaduseks selle mürapidavus. Puidust vahelagede puhul on selle saavutamine keerulisem kui nt raudbetoonist vahelagede puhul. Sammumüra tõkestamiseks paigaldatakse laetalad elastsetele kummiribadele. Õhumüra

tõkestamiseks täidetakse vahelae konstruktsioon raskema täidisega, näiteks liivaga. [2]



**Joonis 11.** Liivtäidisega vahelagi. [2]

Pööningu vahelae puhul on eriti oluline selle soojapidavus. Pööningulae soojapidavus peaks olema umbkaudu poolteist korda suurem seinte omast. Pööningu vahelae soojustuse valikul tuleks võtta arvesse selle mahukaalu ning valida väiksema mahukaaluga soojustusmaterjalid. Pööningu vahelae soojustamiseks on sobilikud mineraalvill ja termoliiti. Mineraalvilla tuleks panna 200-250 mm, termoliiti 250-300 mm. [2]



## 2. UURITAVATE HOONETE KIRJELDUS

Antud magistritöö sisaldab kolme erinevat uurimisobjekti. Uuritavaid objektide saab ühtselt iseloomustada kolme olulise aspekti järgi:

- Üksikelamu
- Kandev konstruktsioon – puitkarkass
- Pikk ehitusperiood

Hoonete valiku puhul sai määravaks lisaks kandvale konstruktsioonile hoone kasutusotstarve ning eeldus, et hoones elatakse igapäevaselt sees.

Magistritöö uurimisobjektide kohta avaldatud tehnilised andmed on ise mõõdistatud ega ole kasutatud ehitusregistri andmebaasis olevaid tehnilisi näitajaid. Kontrollmõõtmisi tehes tuli välja ehitusregistri näitajate erinevus reaalsusega. Hoonete täpsed aadresse antud lõputöös ei avaldata. Lõputöö mõistes tähtsamad tehnilised andmed on välja toodud alljärgnevas tabelis 2.

**Tabel 2.** Hoonete tehnilised andmed.

	<b>Hoone 1</b>	<b>Hoone 2</b>	<b>Hoone 3</b>
<b>Ehitusega alustamise aeg</b>	2001	1999	1996
<b>Valmimisaasta</b>	2003	2006	1999
<b>Asukoht</b>	Tartu linn	Tartu vald	Räpina vald
<b>Korruselisuus</b>	1,5	1	1,5
<b>Kelder</b>	Ei	Ei	Jah
<b>Ehitusalune pindala</b>	83 m <sup>2</sup>	165 m <sup>2</sup>	105 m <sup>2</sup>
<b>Hoone netopindala</b>	146 m <sup>2</sup>	150 m <sup>2</sup>	97 m <sup>2</sup>
<b>Ruumala</b>	340 m <sup>3</sup>	318 m <sup>3</sup>	250 m <sup>3</sup>
<b>Piirete pindala</b>	391 m <sup>2</sup>	401 m <sup>2</sup>	314 m <sup>2</sup>
<b>Küttesüsteem</b>	Tsentraal	Tsentraal	Keskküte
<b>Kütuse tüüp</b>	Õli	Puit	Maaküte
<b>Abi küttesüsteem</b>	-	Õhk-vesi soojuspump	-
<b>Jahutussüsteem</b>	-	Õhk-vesi soojuspump	-
<b>Elanikke</b>	2	4	1

## 2.1 Hoone 1

Lõputöö esmane uurimisobjektiks on Tartu linnas asuv 1,5-kordne 146m<sup>2</sup> suurune ühepereelamu. Uuritav hoone valmis pärast kahe aastast ehitusperioodi aastal 2002. Alates hoone valmimisest on elamu olnud koduks vaid ühele perele. Hetkel elab hoones aastaringselt sees kaks täisealist inimest koduloomadeta.



**Joonis 12.** Esimene uuritav hoone.

Antud hoone on ehitatud kindla projektita. Mistõttu ei ole täpselt teada hoone ehitusel kasutatud materjalid. Konstruktiivse osa poole pealt on teada vaid, et maja seinad soojustati mineraalvillaga. Puudulik on aga informatsioon kihipaksuste kohta.

Välisel vaatlusel on näha, et hoone on üsna madala sokliga. Fassaadi viimistlemisel on kasutatud horisontaalselt paigaldatud hõõveldatud laudu. Katusekattematerjalina on kasutatud bituumensindlit.

Elamus on kasutusel õlikatlagi keskküttesüsteem. Sooja edasi andmiseks on esimesel korrusel täies ulatuses põrandaküte, teisel korrusel on see-eest kasutusel reguleeritavate kraanidega radiaatorid. Hoone igas ruumis on vähemalt üks avatav aken. Kõik aknad on puitraamiga ning kahekordse paketi. Elamus on kaks ventileeritavat märga ruumi, esimesel korrusel saun (koos eesruumiga) ning teisel korrusel vannituba. Kõikides märgades ruumides on tehtud nõuetekohaselt hüdroisolatsioonitööd – st betoonpõrandad on täies

ulatuses ning seinad märgades tsoonide kaetud hüdroisolatsioonimaterjaliga. Erinevalt teistest ruumidest, on märgadel ruumidel kõrge lävepakuga uksed.

## 2.2 Hoone 2

Teine uuritav eluhoone asub Tartu vallas. Elamu on 1-korruseline 6-toaline netopindalaga 150 m<sup>2</sup>. Ehitusega alustati 1999. aastal. Ehitustööd kestsid katkendlikult 7 aastat ning hoone valmis lõplikult 2006. aastal. Alates hoone valmimise ajast on seal sees elanud hoone ehitanud perekond. Praegusel hetkel elab hoones igapäevaselt 3 täisealist inimest.



**Joonis 13.** Teine uuritav hoone.

Sarnaselt esimesele hoonele on hoone väga madala sokliosaga. Välisseinte karkassiks on kasutatud 50x150 mm puitposte. Seina soojustuseks on mineraalvill paksusega 150 mm. Karkassipostide peale on lisaks paigaldatud veel tuuletõkkepaber, millele on omakorda löödud distantssliistud. Fassaadi viimistlusel on kasutatud hõõveldatud laudist, mis on paigaldatud vertikaalselt. Katusekattena on kasutatud profiilplekki, katus ise on soojustamata. Pööningu vahelae soojustamiseks on kasutatud 300 mm puistevilla.

Hoones on kasutusel keskküttesüsteem. Soojust toodetakse puitkütte katlaga, ning soojus viiakse tubadesse radiaatorite kaudu, kasutusel on kahetoru süsteem. Dušši ruumis on kasutusel radiaatorkütte asemel elektriline põrandaküte. Lisaks on hoonel veel õhk-vesi-soojuspump, mida saab talvel kasutada soovi korral lisa soojustusallikana, samuti saab seadet kasutada suvisel perioodil jahutusseadmena. Maja on täies ulatuses varustatud loomuliku ventilatsiooniga. Maja avatäidetena on kasutatud metallraamiga 2-korde paketiaknaid, välisukseks on soojustatud puituks.



Hoones olevates mägroomides on tehtud täies ulatuses hüdroisolatsioonitööd. Hüdroisolatsioonivõõp on tehtud kogu ulatuses nii põrandal, seintes kui ka laes. Lisaks on vee sattumine kõrvalistesse ruumidesse takistatud kõrgete lävepakkudega. Liigniiskuse välja viimiseks on kasutusel sundventilatsioon, mis käivitub automaatsel tulede põlema panemisel ning töötab kuni 3 minutit pärast tulede kustutamist.

### 2.3 Hoone 3

Kolmandaks uurimisobjektiks on Räpina vallas asuv elamu. Elamu on 1,5-korruseline, millest vaid esimene korrus on kasutusel, seetõttu on arvestatud netopindalaga 97 m<sup>2</sup>, ning pakub igapäevaselt peavarju ühele inimesele. Hoone ehitusega alustati 1996 aastal ning elamu valmis 1999 aastal. Hoone on ehitatud seal praegu sees elava vanahärra poolt, kes kasutas ehitamiseks seal kandis ringlevat tüüpprojekti, millega sai sel ajal vallast ehitus- ja kasutusloa. Hoone plaanid ega seletuskiri ei sisaldanud konstruktsioonide osas erilist informatsiooni, seletuskirjas oli vaid et kasutatakse 50x200 mm puittalasid.



**Joonis 14.** Kolmas uuritav hoone.

Vestlusel hoone ehitajaga (omaniku endaga) selgus, et hoone soojustamiseks kasutati tasuta saadud linaluu täitematerjali ning karkassiks on vastavalt projektile 50x200 mm. Keldri vahelagi on tehtud õõnespaneelidest, millele on peale pandud rihtimiseks puittalad, mis on omakorda kaetud põrandalaudadega, põrand on soojustamata. Hallituse tekkimise vältimiseks on soklis ventilatsioonivad. Pööningu vahelagi on soojustatud 300 mm

termoliidiga. Katus oli algselt laastukatus, mis halva hoolduse ja kehva paigalduse tõttu hakkas kiirelt vett läbi laskma, mistõttu 2009. aastal otsustati katusekate vahetada. Laastukatus asendati eterniitkatusega, mis on siiani elamul katusekatteks. Katus ise on soojutamata.

Hoone on varustatud maaküttega, mis tagab kogu hoone soojavajaduse. Katel asub keldrikorrusel ning on programmeeritud hoidma toas ühtlaselt 19 °C, temperatuuri edastav andur on maja keskel elutoas, 1,3 meetri kõrgusel seina küljes. Tubades on kasutusel soojusallikadena paneelelamutest tuntud ribiradiaatorid. Lisaks on veel eraldi ahi, mida elanik ei pea vajalikuks kasutada. Hoone maapealsel korrusel puudub ventilatsioonisüsteem. Looduslik ventilatsioon on kasutusel vaid WC-duširuumis. Samuti puudub köögikubu.

Hoones on avatäidetena kasutatud puitraamiga topelt aknad. Välisukse puhul on kasutusel soojustamata puituks. Hoones olevas märjas ruumis on tehtud hüdroisolatsioonitööd põrandal ning dušinurga osas, veel on märjas ruumis kõrge lävepakuga uks, et vältida vee sattumist kõrvalruumi.

### 3. METOODIKAD

#### 3.1. Elanike küsitlus

Elanike seas läbi viidud küsitluse küsimustik on välja töötatud Tallinna Tehnikaülikooli inseneriteaduskonna, Ehituse ja Arhitektuuri instituudi teadurite poolt. Algset küsimustikku on kasutatud mitmetes KredExi poolt tellitud hoonete tehnilist seisukorda uurivates aruannetes. Kasutatud on seda nii 2010. aastal esitatud „*Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga*“ kui ka 2011. aastal esitatud „*Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga*“ uuringute tegemisel. [9, 10]

Küsitlus on kohendatud sobivamaks puitsõrestikelamute uuringu jaoks koostöös erinevate Eesti Maaülikooli õppejõududega. Küsimustiku koostamise eesmärgiks oli teada saada elanike ruumide kasutamise harjumusi ja täpsemat informatsiooni erinevate tehnosüsteemide ning elanike üldise rahulolu kohta. Samuti paluti küsimustikus kirjeldada peamisi probleeme seoses antud hoones elamisega. Küsimustiku esitatud küsimuste vastusevariante oli mitmeid erinevaid: konkreetsete jah-ei stiilis vastustega, kohati kindlate valikvastustega (nt küttesüsteem valik), kuid oli ka elanike suhtelist (skaalal 1-7, nõustun-ei nõustu) hinnangut vajavate vastusevariantidega küsimusi. Antud küsimustik ei sisaldanud ühtegi küsimust, mis paljastaks informatsiooni elamu ülalpidamiskulude ning muid elanike finantsvõimekuse kohta käivaid andmeid.

Küsitlus viidi läbi igas uuritud elamus. Küsitlusele vastas elamu kohta vähemalt üks igapäevaselt sees elav inimene.

#### 3.2. Sise -ja väliskliima

##### 3.2.1 Sisekliima nõuded

Meie kliimavööndis viibitakse sisetingimustes ligemale 90% ajast[6]. Mistõttu pööratakse sisekliimale kvaliteedile varasemast oluliselt suuremat tähelepanu. Hoone ebakvaliteetsest sisekliimast tulenevat ebamugavustunnet tundvad elanikud otsivad variante, et luua parem sisekliima. Parema sisekliima tekitamiseks kasutatakse võimalusi, mis üldjuhul tõstavad hoone energiakasutust. [4]

Hoonete sisekliima ja parameetrite ja tingimustele esitatud nõudeid hakati Eesti Vabariigis täpsemalt järgima alates 2003. aastast. Aastal 2003 võeti kasutusse EVS 836:2003. Antud standardi järgi tegutseti kuni 2007 aasta juulini, mil võeti kasutusele uus standard - EVS-EN 15152:2007 „Sisekeskkonna algandmed hoone energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast“. Antud standard on siiani kehtiv. [7,4]

Hoone sisekliima olulisus seisneb selle mõjus nii hoonet kasutavatele inimestel, hoone valdajale (antud lõputöös selle elanikele) ning samuti keskkonnale. [4] Hoone halb sisekliima mõjutab selgelt inimeste produktiivsust. [5] Maailma tervishoiuorganisatsiooni (WHO) kohaselt on peamised „haigest“ hoonest tulenevad sümptomid inimeste tervisele järgnevad: [8]

- hingamisteede põletikud ja köha;
- kuivad limaskestad ja kuiv nahk;
- naha punaplekilisuus;
- kähe hää;
- liigtundlikkuse ilmingud;
- vaimne väsimus ja peavalu;
- iiveldus ja peapööritus nina;
- kurgu ja silmade ärritus. [8]

Kehtivas standardis määratletud parameetrid suurendavad inimeste õppimise ja töötamise produktiivsust ning vähendab oluliselt haigestumise tõenäosust. [4]

### 3.2.2. sisekliima klassid

Vastavalt kehtivale standardile on loodud hoone sisekliima klassid. Klassid on järjestatud rangematest nõuetest leebemateni, tähistatult rooma numbritega I-IV (tabel 3). [4]

**Tabel 3.** Sisekliima klassid ja nende selgitus [4]

Sisekliima klass	Selgitus
<b>I</b>	Väga kõrged nõudmised sisekliima kvaliteedile. Soovitav ruumides, kus viibivad väga tundlikud, nõrga tervisega ja erinõuetega inimesed, näiteks puuetega inimesed, haiged, väga väikesed lapsed ning eakad inimesed. <b>Parima sisekliima kvaliteedi ootus.</b>

<b>II</b>	Tavapärased nõudmised sisekliima kvaliteedile. Tuleks rakendada uutes ja renoveeritavates hoonetes. <b>Normaalse sisekliima kvaliteedi ootus.</b>
<b>III</b>	Mõõdukad nõudmised sisekliima kvaliteedile. Võib rakendada olemasolevates hoonetes. <b>Mõõduka sisekliima kvaliteedi ootus.</b>
<b>IV</b>	Sisekliima kvaliteedi väärtused jäävad väljaspoole eelmainitud klasse. Antud klass võib olla vastuvõetav ainult piiratud ajal aastast.

**Märkus:** Erinevates standardites (nt EN ISO 7730 ja EN 13770) tähistatakse liigitamisel sisekliima klassid teisiti. Kasutatakse veel araabia numbreid (1,2,3...) ning ladina tähestikku (A, B, C ...). [4]

**Tabel 4** Sisetemperatuuri ja õhuniiskuse piirväärtused talveperioodil [4,7]

Sisekliima klass	Temperatuur (°C)	Suhteline õhuniiskus (%)
<b>I</b>	21...23	30...50
<b>II</b>	20...24	25...60
<b>III</b>	19...25	20...70
<b>IV</b>	...<19; 25<...	...<20; 70<...

Tabelis 4 toodud piirväärtuste abil tehakse kindlaks, millisesse neljast klassist uuritav hoone kuulub.

### 3.2.3. Metoodika

Hoonete sisetemperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse andmete saamiseks viiakse kõigis kolmes hoones läbi vähemalt kuu pikkune mõõtmine. Sarnaselt sisekliima parameetrite mõõtmistele viiakse samal perioodil läbi ka hoonete lähiümbruses samade väliste parameetrite mõõtmine.

a)



b)



**Joonis 15** Paigaldatud Hobo U12-011 andmesalvestajad a) sisetingimustes  
b) välistingimustes (avatud eeskoda)

Parameetrite lugemiseks ja salvestamiseks kasutati temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse anduritega varustatud Hobo U12-011 andmesalvestajaid (Joonis 16). Andmesalvestajad seadistati mõõtma ja salvestama näitajaid 30 minutilise intervalliga. Andmeid koguti nii sise- kui ka välitingimustes kogu mõõteperioodi ajal.



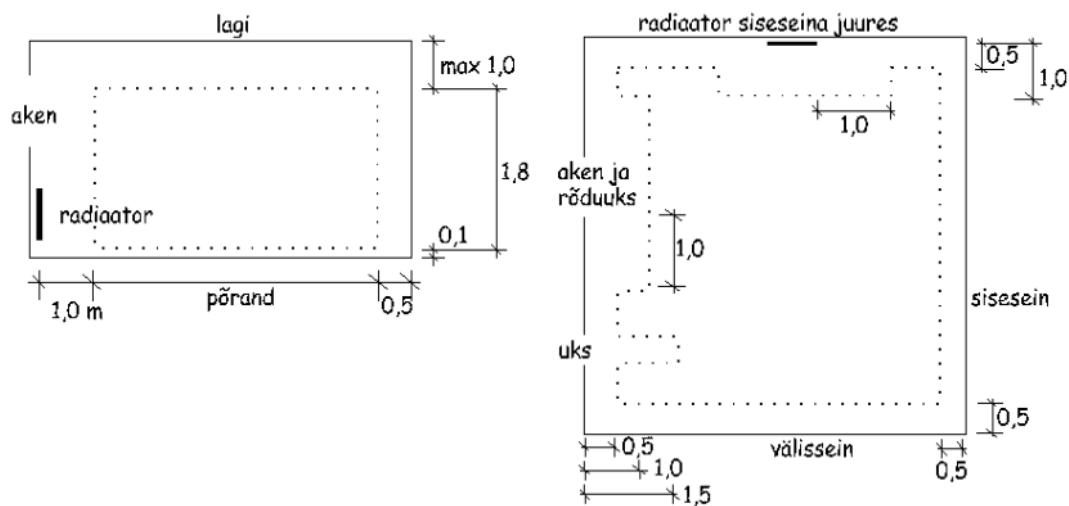
Hobo U12-011 andmesalvestaja temperatuuri mõõtevahemik on  $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +70\text{ }^{\circ}\text{C}$  ning mõõtetäpsus  $\pm 0,35\text{ }^{\circ}\text{C}$  vahemikus  $0\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Suhtelise õhuniiskuse mõõtmise täpsus on  $\pm 2,5\%$  vahemikus  $10\% \dots 90\%$ , üldine mõõtevahemik  $5\% \dots 95\%$ . [11]



**Joonis 16.** Hobo U12-011 andmesalvestaja.

### 3.2.4. Kontrolltsoon

Kontrolltsooniks nimetatakse ruumi osa, kus peavad kehtima sisekliimale esitatud nõuded. Kontrolltsooni sisse jäävat ala võib veel nimetada ruumi kasulikuks pinnaks, ehk alaks kus inimesed peamiselt viibivad. Ruumi kasuliku pinna määravad ära standardis EVS 836:2003 defineeritud kontrolltsooni täpsemad piirid (joonis 17).



**Joonis 17.** Kontrolltsooni määratluse skeem. [7]

Joonisel 17 välja toodud tähtsamad kontrolltsooni piirid:

- Vähemalt 0,1 m põrandapinnast;
- Vähemalt 1,0 m välisseinas olevast aknast;
- Vähemalt 0,5 m aknata välisseinast ja siseseinast;
- Vähemalt 1,5 m välisuksest;

- Vähemalt 1,8 m põrandapinnast;
- Vähemalt 1,0 m seinäärsest radiaatorist. [7]

Sisekliima parameetrite mõõdistamiseks on andmesalvestajate paigaldamisel lähtuti EVS 836:2003 esitatud kontrolltsooni joonistest (Joonis 17).

Vähemalt 1,0 m küttega laest Siseruumide suhtelise õhuniiskuse ning temperatuuri mõõdistamisel paigaldati elutubadesse Hobo U12-011 andmesalvestajad. Kõik andmesalvestajad paigaldati mööbliesemete peale, põrandapinnast 1,5m kõrgusele, kaugus soojust kiirgavatest seadmetest üle 1,0 meetri ning kaugus hoone välisuksest ja välisseintest üle 1,5 meetri. Takistatud oli ka otsene päikesevalguse levik seadmeni andmesalvestajale.

Arvutusteks vajalike väliskliima parameetrite kogumiseks paigaldatud andmesalvestajad paigaldati välitingimustesse, otsese päikese kiirguse eest varjatuna (joonis 15b). Siinkohal tuleb märkida, et joonisel 15b näidatud koht on suurel määral lahti katusealune.

Valemiga 3.1 arvutatakse niiskuskliisa siseõhu- ja välisõhu veeaurusisalduse vahe järgi. Niiskuskliisa arvutamiseks kasutatakse siseõhu- ja välisõhu veeaurusisalduse vahet, mis arvutatakse valemiga 3.1. [13].

$$\Delta v = v_i - v_e \quad (3.1.)$$

kus:  $\Delta v$  – niiskuskliisa, [g/m<sup>3</sup>];

$v_i$  – siseõhu veeaurusisaldus, [g/m<sup>3</sup>];

$v_e$  – välisõhu veeaurusisaldus, [g/m<sup>3</sup>].

Kui välisõhu ja siseõhu temperatuurid on teada, arvutatakse olenevalt õhutemperatuurist valemiga 3.2. ( $t \geq 0^\circ\text{C}$ ) või 3.3. ( $t < 0^\circ\text{C}$ ) veeauru küllastusrõhu  $p_{\text{sat}}$ , Pa [13].

$$p_{\text{sat}} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot t}{237,3+t}} \quad \text{Pa, kui } t \geq 0^\circ\text{C} \quad (3.2.)$$

$$p_{\text{sat}} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot t}{265,5+t}} \quad \text{Pa, kui } t < 0^\circ\text{C}, \quad (3.3.)$$

kus:  $t$  – õhu temperatuur, [ $^\circ\text{C}$ ].

Veeauru küllastussisalduse õhus  $v_{\text{sat}}$ , kg/m<sup>3</sup> arvutamiseks kasutatakse valemit 3.4. [14]

$$v_{\text{sat}} = \frac{M_w \cdot p_{\text{sat}}}{R \cdot (273,15+t)} \quad \text{kg/m}^3 \quad (3.4.)$$

kus:  $t$  – temperatuur [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$M_w$  – vee molaarmass: 18,015 kg/kmol;

$R$  – universaalne gaasikonstant 8314,41 J/(kmol·K).

Siseõhu- ja välisõhu suhteline õhuniiskus on vastavalt mõõdetud ja andmearhiivist saadud ning arvutatakse siseõhu- ja välisõhu veeaurusisaldus, kasutades valemit 3.5. [14]

$$RH = \frac{v}{v_{sat}} \cdot 100\%, (3.5.)$$

kus:  $RH$  – suhteline õhuniiskus, [%];

$v$  – veeaurusisaldus õhus, [ $\text{g}/\text{m}^3$ ];

$v_{sat}$  – veeauru küllastussisaldus õhus, [ $\text{g}/\text{m}^3$ ].

### 3.3. Piirdetarindite õhupidavus

Eesti Vabariigis tuleb hoonete piirdetarindite õhupidavuse testimisel lähtuda täielikult kehtivast standartist EVS-EN ISO 9972:2015 „Hoonete soojuslik toimivus Hoonepiirete õhulekke määramine, Ventilaatoriga survestamise meetod“. EVS-EN ISO 9972:2015 on kehtiv alates 2015. aastast, asendades sellega eelnevalt al 2001. aastast kasutuses olnud standardi EVS-EN 13829:2001. Kehtiva standardid järgi saab hoone või selle osa ventilaatoriga survestamise meetodil iseloomustada piirdetarindite õhuleket. Ventilaatoriga survestamise meetodit saab kasutada sarnaste olemasolevate hoonete või nende osade piirdetarindite õhulekete võrdlemiseks ja renoveerimise käigus hoonete piirdetarindite õhupidavuse parandamise tulemlikkuse iseloomustamiseks. Samuti võib kasutada antud meetodit hoone reaalse õhulekkearvu ja projektis määratud väärtuste võrdlemiseks. [12]

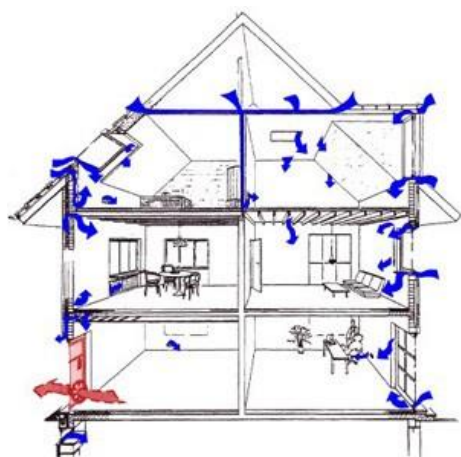
#### 3.3.1. Katse läbiviimine

Katsete edukaks läbiviimiseks tehti alljärgnevad ettevalmistused enne BlowerDoori ventilaatori sisselülitamist:

- Hoone põrandapindala arvutamine
- Hoone välispiirete pindala arvutamine
- Hoone ruumala arvutamine
- Avatäidete sulgemine
- Ventilatsiooniavade sulgemine
- Mehaanilise ventilatsiooni- ja konditsioneerisüsteemi sulgemine

- Kanalisatsioonitrappide sulgemine (veega täitmine)
- Tulekollete siibrite sulgemine
- BlowerDoori üles seadmine ja andmete sisestamine

Joonisel 9 on visualiseeritud BlowerDoori tööpõhimõtet. Siniste nooltega on näidatud piirdetarindeid läbivad õhuvooluhulgad, punaste nooltega aga läbi ventilaatori liikuvad ala- või ülerõhu õhuhulkasid. [15]



**Joonis 18.** BlowerDoori tööpõhimõte. [15]

Tabelis 5 on välja toodud BlowerDoori mõõteseadeldise komplekti kuuluvate seadmete ja esemete tehnilised näitajad.

**Tabel 5.** BlowerDoori mõõtmisseadeldise tehnilised andmed. [18]

BlowerDoori komplekti osa	Nimetus	Mõõtevahemik
Ventilaator	BlowerDoor Model 3	5...2973 l/s
Mõõtesead	DG-700	-1250...1250Pa
Raam	-	Laius: 71...101cm
		Kõrgus: 132...244cm
Andmetöötlus tarkvara	TECTITE Express	-

Hoonete õhuleket saab mõõta kahel viisil – ala- ning ülerõhuga. Kõik katsed teostati kasutades BlowerDoori mõõteseadet. Katsetes osalenud hoonetes tekitati esmalt alarõhk seejärel kontrolli mõttes ülerõhk, mida mõõdeti 10Pa sammuga skaalal 0...±60Pa. Nii enne kui ka pärast lekkõhuhulga mõõtmisi teostati sise- ja väliskeskkonna vahelise loomuliku õhurõhu ning temperatuuride mõõdistamine. Misjärel toimus mõõtetulemuste automaatne korrigeerimine mõõteseadme poolt. Kõik ala- ja ülerõhu katsetega saadud näitajad on salvestatud 50 Pa juures. [12]

Katsetes osalenud hoonete piirdetarindite õhupidavuse kirjeldamiseks saadi testide tegemisel kolm olulist näitajat: Õhuvooluhulk, õhulekkearv ja õhuvahetuskordsus. Õhuvooluhulk  $v_{50}$  näitab mitu kuupmeetrit õhku läbib hoone välispiirdeid ühe tunni jooksul 50 Pa rõhuvahe juures (ühik  $m^3/h$ ). Õhulekkearv  $q_{50}$  iseloomustab 50 Pa rõhuvahe juures õhuvooluhulga suurust, mis läbib ruutmeetri suuruse pindalaga piiret (ühik  $m^3/(h \cdot m^2)$ ). Õhuvahetuskordsus  $n_{50}$  näitab 50 Pa rõhuvahe juures läbi hoone piirdetarindite lekkinud õhuvooluhulga ja hoone siseruumala suhet (ühik  $h^{-1}$ ). [12]


### 3.4. Termograafia

Termografeerimisel toetuti kahtivale standardile EVS-EN 13187:2001 „*Thermal performance of buildings - Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes - Infrared method*„. Standardi kohaselt määratakse termografeerimise käigus hoone piirdetarindite temperatuurierinevused. Märkimisväärsed temperatuurierinevused võivad piirdetarindite erinevatele probleemidele – halvasti paigaldatud soojustus, külmasillad, õhulekked jpm. [16]

Termografeerimise aja valiku Eestis määrab väliõhu temperatuur. Sise- ja välitemperatuuride erinevus pildistamise ajal peab olema vähemalt  $20^{\circ}C$ . [16]

Termografeerimine teostakse kaheetapiliselt. Kaheetapilise termografeerimise eesmärgiks on külmasildade ja õhulekke kohtade eristamine. 1. etapis teostatakse termografeerimine hoone normaalingimustes. 2. etapis tekitatakse BlowerDoor seadmega hoonesse 50Pa suurune alarõhk. Alarõhu toime hakkab läbi piirdetarindite hoonesse imbuma jahe välisõhk. Hoonel lastakse 50Pa alarõhu alla olla 30 minutit, misjärel alustatakse uuesti termopiltide tegemisega. Kõik termopildid tehakse termoviisoriga.

**Tabel 6.** Flir i7 termokaamera tehnilised andmed.

Seadme nimetus	Flir i7
Pilt	
Mõõtevahemik	$-20^{\circ}C \dots 250^{\circ}C$
Termiline tundlikus	$0,1^{\circ}C$
Minimaalne fookuskaugus	60mm

Termoviisorit ehk termokaamerat võib nimetada soojuskiirguse vastuvõtjaks. Termokaamera mõõdab vaadeldava keha pinnalt kiirgavat infrapunakiirguse tugevust, misjärel toimub soojuskiirguse tugevuse andmete ümbertöötlemine temperatuuriandmeteks. Misjärel formeerub sellest digitaalne termofoto. [15] Antud lõputöö teostamisel kasutati Flir i7 termokaamerat, mille olulisemad tehnilised andmed on välja toodud tabelis 6.

Termografeerimisele eelneval päeval paluti hoone elanikel teha järgnevad toimingud:

- Päeva enne pildistamist liigutada välisseina ümbrusest mööbel ja muud esemed vähemalt 1m kaugusele;
- Päev enne pildistamist tõmmata kardinad akende keskele ning rulood kinni rullida;
- Mitte kütta ahju/kaminat vahetult enne mõõdistamist;
- Sulgeda siibrid ning ventilatsiooniavad. [15]

### 3.4.1. Külmasildade kriitilisuse hindamine

Külmasildade kriitilisuse hindamiseks kasutatakse temperatuuriindeksit ( $f_{Rsi}$ ), mis sõltub siseõhu-, sisepinna-, välisõhu temperatuurist. Kõik antud väärtused on mõõdetavad termografeerimise ajal. Kui kõik kolm parameetrit on mõõdetud, saab külmasilla kriitilisust analüüsida valemi 3.6. järgi [13].

$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} \quad (3.6.)$$

kus:  $f_{Rsi}$  - temperatuuriindeks, [-];  
 $t_{si}$  - sisepinnatemperatuur, [°C];  
 $t_i$  - siseõhu temperatuur, [°C];  
 $t_e$  - välisõhu temperatuur, [°C]. [13]

**Tabel 7.** Eestis turvalised temperatuuriindeksite piirväärtused. [17]

	Niiskuskooormus	Temperatuuriindeksi piirväärtus $f_{Rsi}$	
		Kondenseerumise vältimine	Hallituse vältimine
<b>Väikese niiskuskooormusega ja hea ventilatsiooniga hoone</b>	Niiskuskulisa talvel +4g/m <sup>3</sup>	≥0,55	≥0,65
	Niiskuskulisa suvel +1,5g/m <sup>3</sup>		
<b>Suure niiskuskooormusega ja halva ventilatsiooniga hoone</b>	Niiskuskulisa talvel +6g/m <sup>3</sup>	≥0,7	≥0,8
	Niiskuskulisa suvel +2,5g/m <sup>3</sup>		

Lähtudes niiskuskooormusest on arvatud veeauru kondenseerumise kui ka hallituse tekkimise temperatuurindeksi piirväärtused (tabel 7). [17]

### 3.5. Hoone tehniline seisukord

Hoonete tehnilise seisukorra hindamisel lähtutakse 1. jaanuaril aastal 1992 Eesti Riikliku Elamuameti poolt kinnitatud dokumendist „Hoonete füüsilise kulumise määramise tabelid“. Dokumendist olevad tabelite alusel on võimalik hinnata hoone tehnosüsteemide, põhikonstruktsioonide ja viimistluse füüsilist kulumist. [19]

Lõputöös uuritavate hoonete füüsilise kulumise protsendi arvutamisel on eesmärk elamuid omavaheline võrrelda.

Hoone füüsiline kulumus arvutatakse valemi 3.7. järgi, kus 15 konstruktiivelemendi maksumuse osatähtsuse ning füüsilise kulumi korrutis jagatakse 100-ga. [19]

$$F_k = \sum_{1-15} \frac{m \cdot f}{100}, \quad (3.7.)$$

Kus:  $m$  – maksumuse osatähtsus, [%];

$f$  – füüsiline kulumus [%].

Hoone füüsilise kulumi konstruktiivelemendi nimetused:

1. Vundament/sokkel;
2. Välisseinad, terrassid, rõdud;
3. Siseseinad;
4. Vahelaed;
5. Põrandad;
6. Katusekonstruktsioonid;
7. Katusekate;
8. Avatäited;
9. Küttesüsteemid;
10. Siseviimistlus;
11. Trepid;
12. Vesi, kanal;
13. Elektrivarustus;
14. Keskküte;

## 15. Muud tööd. [19]

Hoone osa füüsilised kulumis hinnatakse visuaalsel vaatlusel, vahemik 0-80%. [19]

- 0% – Väga hea seisukord;
- 80% – Kõlbmatu seisukord.

Hoone osa füüsilise kulumuse protsendi määramiseks on määratud kulumite vahemikud koos kulumi kirjeldustega, mille abil kulumi protsenti määrata.

Maksumuse osatähtsuse protsent tuleb antud dokumendi lisast, kus on määratud elamute tüüpide kaupa osade maksumuse protsendid. Näidiseks on võetud hindamistabel nr 4, mille maksumuse osatähtsuse protsenti on vähesel määral muudetud uuritavate majade iseärasusi arvestades. Muutused on sisse viidud koostöös Eesti Maaülikooli õppejõududega.



## **4. MÕÕDISTUSTE JA HINNAGUTE TULEMUSED**

### **4.1 Elanike küsitlus**

Elanike küsitlus viidi läbi kõigi majas igapäevaselt elavate isikute vahel. Antud peatükis kirjeldatakse elanike hoone kasutusharjumusi ning nende hinnangut hoones oleva sisekliima kohta. Kõiki hooneid käsitletakse eraldi.

Esimese hoones vastas küsitlusele 2 elanikku - üks meesterahvas, teine naisterahvas. Teine uurimisobjekt on püsivaks elukohaks kolmele täiealisele – kahele meesterahvale ja ühele naisterahvale. Kolmas hoone on nüüdseks jäänud igapäevaseks elukohaks vaid ühele soliidses vanuses vanahärrale. Kõik uuritavates hoonetes elavad elanikud vastasid läbiviidud küsitlusele.

#### **4.1.1. Hoone 1**

Hoones on kogu kasutusaja jooksul olnud probleeme vaid katuseakendega. Nimelt hakkas aastal 2010 katuseakende äärtest õrnalt vett sisse tulema. Misperale lasti katusetöid teostaval ettevõttel katuseakna ümbrus veetihedaks teha. Samal ajal vahetati välja kõik katuseakende tihendid. Rohkem ei ole elanikud hoone kasutusaja jooksul märkimisväärsed remonttöid teinud. Elanikud on tähendanud trepihalli ühes nurgas jahedatel talveilmade õrnalt sisse tungivat külma õhku. Kuna tegemist on kohaga, kus tavapäraselt pikemalt ei viibita, siis ei peeta seda märkimisväärseks probleemiks. Lähiajal on plaanis hoones põhjalikum sanitaarremont läbi viia, värskendada välisilmet, uuendada siseviimistlust ning uurida täpsemalt antud lõputööraames ilmnenud hoone õhulekkekohti ning need seejärel kõrvaldada.

Küsitluse vastuste järgi otsustades on elanikud hoone sisekliimaga üldjoones rahul. Talvisel perioodil ei ole hoone sisekliima kohta ühtegi etteheidet. Paljudele kõrgena tunduv 25 °C on majaanike silmis meeldiv temperatuur, mida keskküte üsna stabiilselt hoiab. Suvisel perioodil tuntakse teisel korrusel viibides puudust jahutusest. Vastavalt vajadusel tehakse suvisel perioodil ülemisel korrusel tuulutamise eesmärgil aknaid lahti.

Hoone kasutamise käigus ei ole elanikud tähendanud akende uduseks muutumist. Köögis söögi tegemise ajal on sisse lülitatud köögikubu. Saunas, vannitubades ja tualettruumis on hästi toimiv sundventilatsioon. Saunas käimise ajale ei lähe eluruumide aknad üldiselt

uduseks. Erandiks muidugi juhud, kui saunauks jääb pikemaks ajaks lahti. Samuti ei kuivatata hoones sees riideid, millest võiks hoonesse liigniiskust tekkida.

Elanikud ei kurda tervismurede üle. Kodus olles ei tunta ei põhjendamatut väsimust, uimasust, keskendumisraskusi ega teisi halva sisekliima poolt põhjustatavaid tervisehädasid.

#### **4.1.2. Hoone 2**

Hoonega ilmnenud probleemide kohal tõid kõik elanikud esmalt välja, et aastal 2012 juhtunud põrandaaluse kütetorustiku lõhkemise katla ülekütmise tõttu. Mistõttu võeti põrand suurel määral üles, eemaldati ka mineraalvillast soojustusmaterjal. Märgunud konstruktsioonil lasti kuivada, misjärel paigaldati kuivanud soojustusmaterjal uuesti tagasi. Hoone esmase projekti järgi ei olnud hoonele ette nähtud vundamendi/sokli osa soojustust, mistõttu oli hoone välisseinte ääres põrandad talvisel perioodil väga külmad. Häirivalt külma põrandaga probleemi lahendamiseks otsustas pere 2016. aastal võtta käsile vundamendi/sokli osa soojustamise. Vundament soojustati täies ulatuses 100mm vahtpolüstüreen plaadiga, mis omakorda kaeti sokliplaatidega. Lisaks horisontaalsele soojustusele pandi vundamendi taldmiku ümber vertikaalselt 100 mm vahtpolüstüreen plaadid. Vertikaalse soojuste paigaldamise käigus vigastati majja sisenevat elektrikaablit, pärast mida tähendasid elanikud anomaaliaid elektriga. Probleemide süvenemisel elektriga otsustati 2019. aasta kevadel turvalisuse mõttes kaabel uuega asendada, mis toodi külmunud maapinna tõttu maa pealt. Läbiviik maja peakilbini tehti läbi välisseina, mistõttu on hoones üks potentsiaalne õhulekkekoht lisaks.

Hoone kasutamise käigus ei ole elanikud tähendanud akende uduseks muutumist, rääkimata kondensaadi tekkimisest akna sisepindadele. Vaatamata sellele kasutavad 3 pereliiget igapäevaselt pesuruumi 2 korda päevas. See viitab looduslikule ventilatsioonile. Hoone talvise sisetemperatuuriga rahulolu oli pigem kehv. Kurdeti pideva madala temperatuuri, tiheda kütmisperioodi ning suurte õhulekete üle. Samuti toodi välja tubade vahelise suured temperatuurierinevused. Mille põhjusteks arvatakse olevat õhulekked kui ka kohati ebaühtlaselt soenevad radiaatorid. Siinkohal rõhutati, et radiaatorid on õhutatud.

Hoone elanikud ei ole elukohas viibides tähendanud miskit ebaharilikku tervise osas. Elanikel puudusid allergilised nähud, samuti ei tuntud põhjendamatut uimasust, väsimust, peavalu jms.

### 4.1.3 Hoone 3

Hoone elanik tõi välja tähtsamate teostatud tööde koha pealt kolm suuremat ettevõtmist: aastal 2008 puitküttekatla pealt maaküttele ülemik, 2012. aastal lekkiva laastkatuse vahetamine eterniit katusekatte vastu ja 2017. aastal paigaldatud päikesepaneelid. Omanik teadis rääkida, et hoonele paigaldatud päikesepaneelid toodavad hetkeseisuga aastase perioodi kohta umbkaudu 50€ plussi. Antud lõputöös päikesepaneelide osa rohkem ei käsitleta, kuna need ei ole otseselt hoone osa, vaid tegemist on täiesti eraldiseiseva rajatisega.



**Joonis 19.** Hoone 3 päikesepaneelid.

Vajadus hoone katusekatet vahetada tuli 2012. aastal, mil leidis, et enam ei ole mõistlik vana katust lappida. Katusekatte valikut põhjendas ta sellega, et see materjal oli juba koduhoovis olemas. Pööningul märjaks saanud linaluu kuivas katusekatte vahetuse perioodil täielikult. Remonttööde käigus ei lisatud ei pööningule ega katusekonstruktsioonile lisasoojustust. Hoone keskküttesüsteem vahetati välja 2009. aastal. Vahetuseni ajendas vana puitkütte pealt toimiva kamina küttekeha läbipõlemine. Misperale otsustati teha pikas perspektiivis odavam küttelehendus.

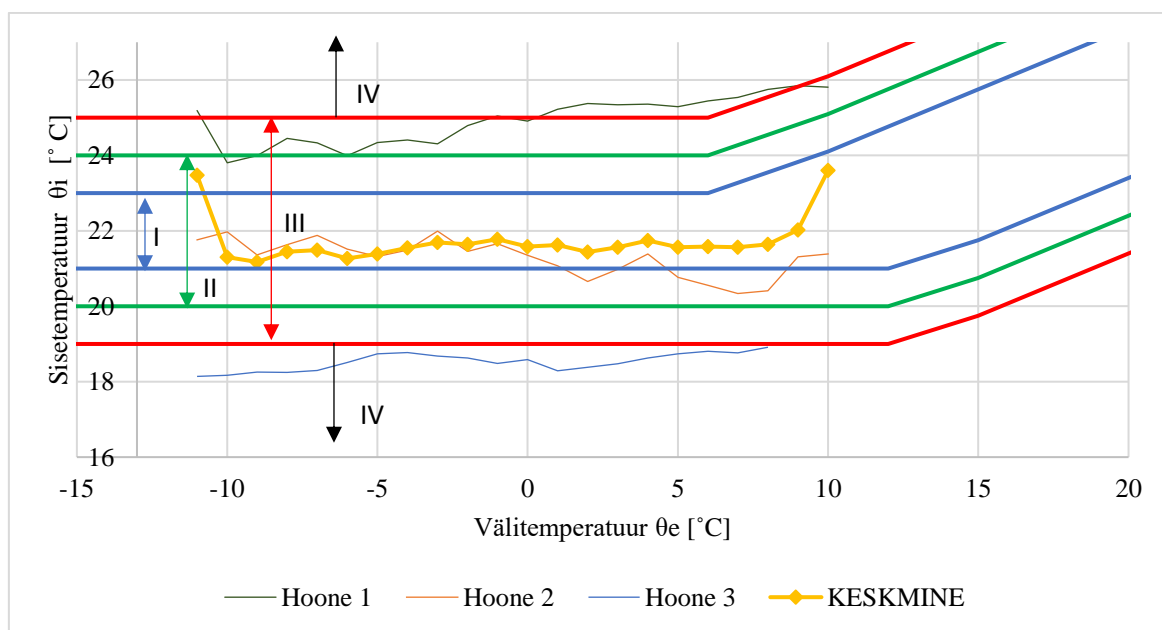
Hoone kasutamise käigus on omanik märganud, et tihtipeale lähevad aknad talvisel perioodil seest uduseks. Küll aga puudusid akende puitraamidest liigniiskusest tekkida võivad kahjustused. Veel leiab elanik, et talvisel perioodil on põrandad soovitusel õrnalt jahedamad.

Sarnaselt eelmise kahe hoone elanikele, ei ole ka tema tähendanud hoones viibides tervisemuresid. Tõi vaid välja, et väga külmadel talveilmadel palja jalu kõndides võib nohu saada.

## 4.2. Sise- ja väliskliima parameetrid

Sise- ja väliskliima parameetrite mõõtmine toimus perioodil 03.02.2019 kuni 28.03.2019, mis teeb mõõteperioodiks 54 päeva. Antud peatükis on välja toodud ning analüüsitud sise- ja väliparameetrite omavahelisi seoseid.

Hoonetete sisetemperatuuri käitumist olenevalt välistemperatuurist aitab analüüsida alljärgnev joonis 20. Joonisel märgitud vahemikud iseloomustavad sisekliima klasse, tähistatud I-IV.



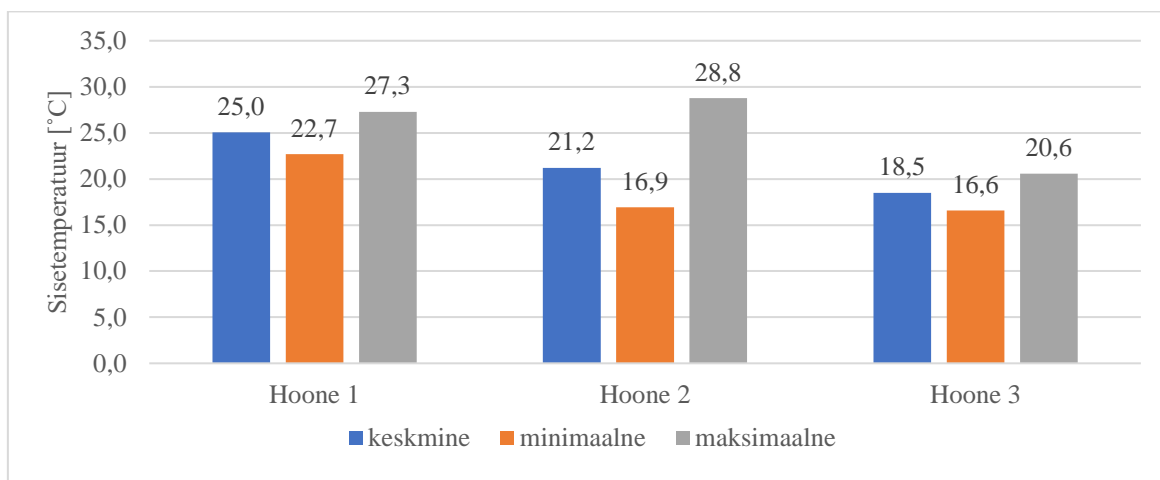
**Joonis 20.** Sise - ja välistemperatuuri vaheline seos.

Enne analüüsi alustamise tuleb märkida, et mõõtmisperioodi käigus hoone 3 puhul ei langenud välistemperatuur temperatuur kordagi alla  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$  ega tõusnud üle  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mistõttu on sellest vahemikust välja jäänud keskmise arvutamisel lähtunud vaid kahest hoonest.

Keskmine kõrgeim temperatuur esines  $+11\text{ }^{\circ}\text{C}$  välistemperatuuri juures. Siinkohal tuleb märkida, et keskmine on kõrgem, kuna  $+11\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatuuri puhul ei läinud arvesse hoone 3 andmed. Kolme maja keskmine kõrgeim oli  $22,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatuuri  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$  juures. Olenemata välistemperatuurist püsis hoonete keskmine sisetemperatuur vahemikus  $21\ldots 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

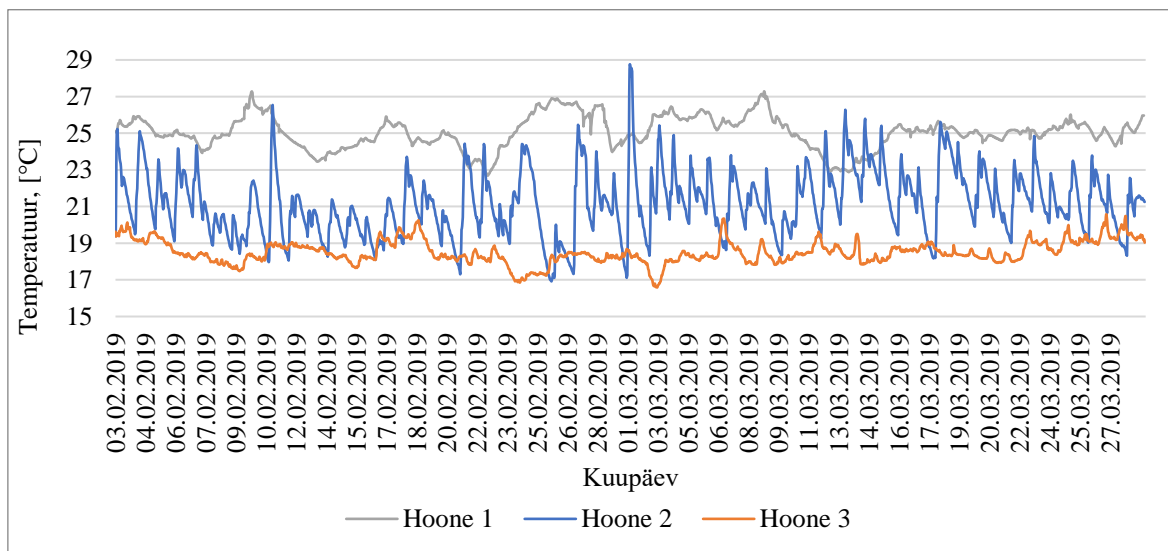
Jooniselt 21 saab hoonete temperatuuride keskmisi, maksimaalseid ja minimaalseid näitajaid võrrelda. Joonisel on esitatud kõik näitajad majade kaupa eristatult. Tulpdiagrammilt tuleb välja, et hoonete temperatuurid erinevad selgelt üksteisest.

Hoone 1 puhul on näha väikest temperatuuride amplituudi kuni 4,6 °C. Samuti on 1. hoone puhul teistest selgelt kõrgeim keskmine temperatuur, 25 °C.



**Joonis 21.** Hoonete miinimum-, maksimum- ning keskmise temperatuuri võrdlustabel.

Teist hoonet eristab teistes selgelt väga kõrge temperatuuriamplituud. Temperatuuride kõrge erinevus tuleb jooniselt 22, mis iseloomustab hoonete temperatuuri muutust asjas. Joonisel 18 on näha 2. hoonet iseloomustav „sikk-sakk“ joon. Selline joondiagrammi iseloomustab selgelt perioodilist kütmist. Joonisel all osas asuv lokaalne miinimum iseloomustab temperatuuri enne katla kütmist, kõrgeim see-eest lokaalset maksimumi – ehk uue jahtumise algusperiood.



**Joonis 22.** Temperatuuri muutus ajas.

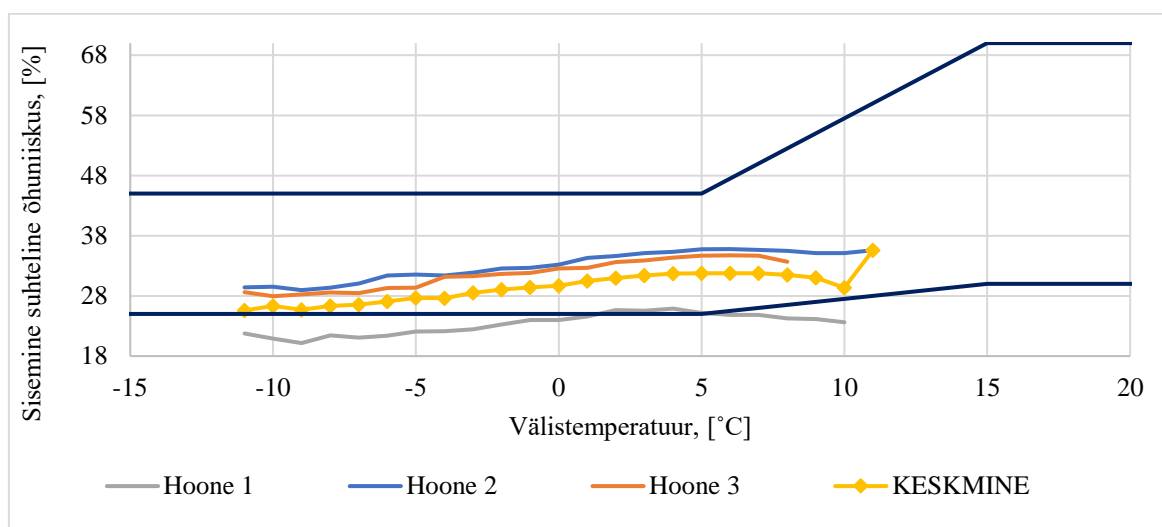
Hoonet 3 iseloomustab väikesim temperatuuriamplituud ning selgeilt madalaim keskmine temperatuur. Kõigest 4 °C temperatuuride erinevus on tingitud keskküttekastlast, mis on

programmeeritud hoidma toas 19°C. See põhjendab madalat keskmist 18,5 kraadist temperatuuri.

Hoonesisese suhtelise õhuniiskuse protsendi ja temperatuuri vahelised seosed on esitatud joongraafikuna joonisel 23 ning suhtelise õhuniiskuse muutus ajas joonisel 24.

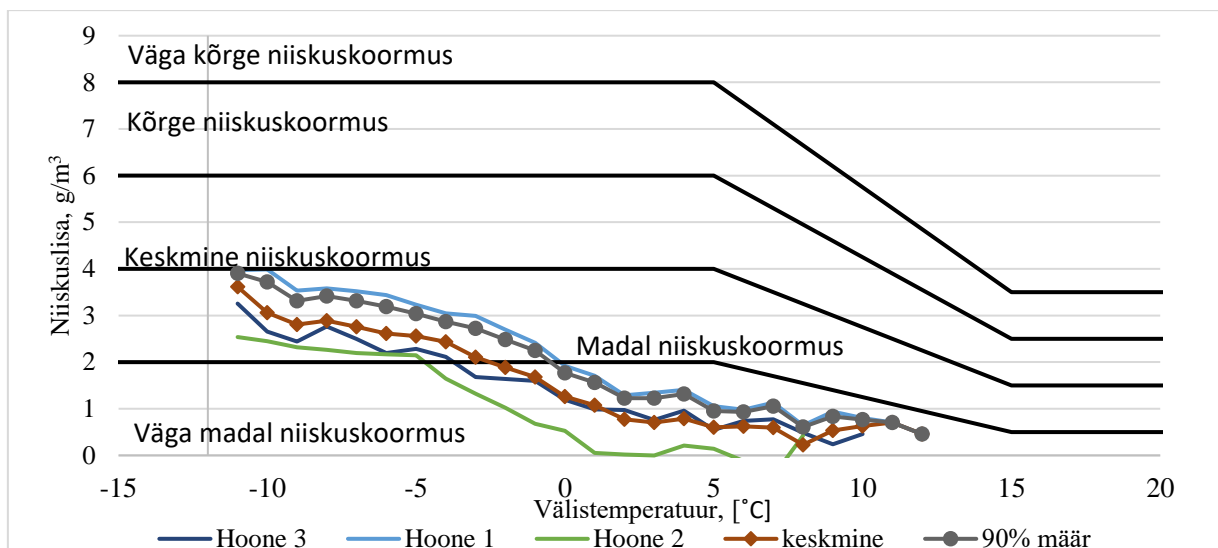
Hoone 3 eristub oma madal suhtelise õhuniiskuse poolest selgelt kahest esimesest. 1 ja 2. hoone puhul on sisemise suhtelise õhuniiskuse ja välistemperatuuri omavaheline suhe väga sarnased. Graafikult selgub, et esimese hoone puhul toimub koos välisõhu temperatuuri tõusuga sujuv suhtelise õhuniiskuse protsendi tõus.

Madal niiskuskooormuse tõttu ei ole mädanik- ja hallitusseente tekkimiseks ja arenemiseks soodsaid tingimusi loodud.



**Joonis 23.** Suhtelise õhuniiskuse ja välistemperatuuri vaheline seos.

Hoonete suhtelist õhuniiskust mõjutavad mitmed tegurid: sisetemperatuur, välistemperatuur, väline suhteline õhuniiskus, hoone ventilatsiooni toimivus ja niiskustootlus. Siseruumide niiskuskooormust ei saa hinnata kõigest suhtelise õhuniiskuse järgi, seetõttu tuleb kasutada ka niiskuslisa. Niiskuslisa näitab väli- ja siseõhu veeaurusisalduse erinevust.



**Joonis 24.** Niiskuslisa sõltuvus välitemperatuurist.

Keskmine 90% kriitiline niiskuslisa oli antud mõõteperioodil  $1,81 \text{ g/m}^3$  kohta. Keskmine niiskuslisa on  $1,41 \text{ g/m}^3$ . Elamute keskmine niiskuslisa kõikus vahemikus  $0,46 \dots 3,90 \text{ g/m}^3$ . Kõrgeimad niiskuslisa väärtused olid suurimate külmakraadide juures. Temperatuuri tõustes langesid kõik väärtused väga madalale, hoonete ühtlaselt madala niiskuslisa põhjuseks võib lugeda käimasolevat kütteperioodi.

### 4.3. Piirete õhupidavus

Kõigis kolmes hoones kasutati õhupidavuse määramiseks meetodikate all kirjeldatud ventilaatoriga survestamise meetodit. Selle teostamiseks kasutati BlowerDoor mõõteaparaati.

Teostatud ala- ja ülerõhu katsetel saadud näitajad on esitatud hoonete vaheliseks võrdlusemomendiks tabelis 8, õhulekke graafikud on esitatud lõputöö lisa 1.

**Tabel 8.** Ala- ja ülerõhu testidega mõõdetud tulemuste aritmeetiline keskmine ja seadusega esitatud nõuded.

	Õhuvooluhulk $v_{50}$ , [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	õhulekkearv $q_{50}$ , [ $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ]	õhuvahetuskordsus $n_{50}$ , [ $\text{h}^{-1}$ ]
<b>Hoone 1</b>	2325	6,4	6,6
<b>Hoone 2</b>	4928	10,5	14,5
<b>Hoone 3</b>	5279	16,9	21,1
<b>Uus hoone, oluline rekonstrueerimine [21]</b>	-	4,0	-
<b>Rekonstrueerimine, olemasolev hoone [21]</b>	-	6,0	-

Enne analüüsi tuleb välja tuua, et õhulekkearvu ja õhuvahetuskordsust ei saa otseselt omavahel võrrelda. Õhuvahetuskordsuse  $n_{50}$  leidmiseks jagatakse siseruumide kubatuur õhulekkevoolu hulgast ning õhulekkearvu  $q_{50}$  leidmisel hoone ruumide välispiirete pindala jagatakse õhuvooluhulgast. [23] Siinkohal tuleb toonitada, et ruumide kubatuur ja välispiirete pindala ei ole võrdelised.

Tabelis 8 välja toodud näitajate järgi on võimalik järjestada hooned õhutiheduse järgi, parimaks tuleb lugeda esimest uuritavat hoonet, selgelt halvim on kolmas uuritud hoone. Vastavalt vabariigi määrusele 58 on rekonstrueeritavatele ja olemasolevatele hoonetele esitatud õhulekkearvu miinimumnõuded. Eraldi on välja toodud uuele ning olulisel määral rekonstrueeritavatele hoonetele esitatavad nõuded. Antud hoonetele esitatud õhulekke miinimumarv võib olla kuni  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  [21]. Olemasoleva hoonele ja väikemahulist rekonstrueerimist saavale hoonele on esitatud õhulekkearvu miinimumnõudeks  $6,0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  [21]. Lõputöös uuritud hoone 1 näitajad on ligilähedased esitatud normidele, mis hoone mõningasel renoveerimisel on võimalik viia normide piiridesse. Teised kaks hoonet vajavad õhutiheduse osas tõsisemat ülevaatamist.

#### 4.4. Termograafia

Hoonete termografeerimine toimus kahes etapis. Esmalt toimus termopiltide tegemine normaaltingimustes, teise pildistamise ajal oli hoones 50 Pa alarõhk. Esimese etapi eesmärgiks oli tuvastada esinevad külmasillad, teise etapi puhul tuvastada õhulekked. Kõikide hoonete pildistamise ajal oli sise- ja välistemperatuuri erinevus rohkem kui 20 °C.

**Tabel 9** Sise- ja välistemperatuur mõõdistamise ajal.

	<b>Hoone 1</b>	<b>Hoone 2</b>	<b>Hoone 3</b>
<b>Sisetemperatuur</b>	25 °C	23 °C	19 °C
<b>Välistemperatuur</b>	-1 °C	-1 °C	-2 °C
<b>Temperatuuride erinevus</b>	25 °C	24 °C	21 °C

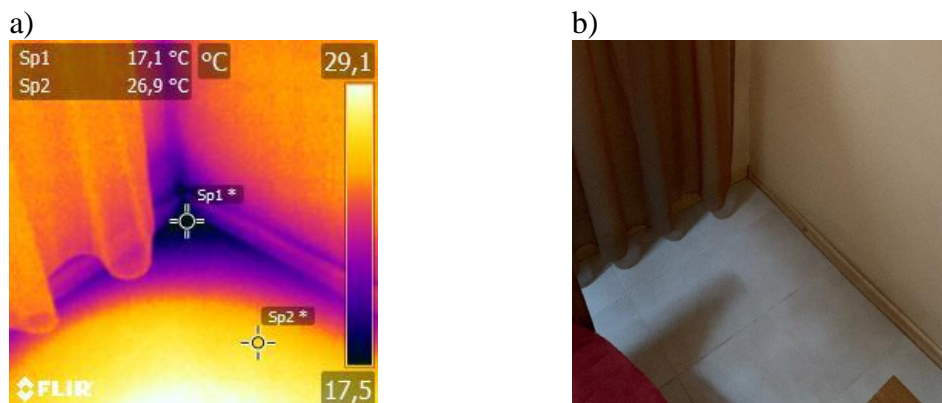
##### 4.4.1. Külmasildade leidmine

Hoonete külmasildade otsimisel selgus, et probleemsed kohad on iga hoone puhul samad. Peamised probleemsed kohad olid 1. korruse põranda ja sokli sõlmedes, pööningu vahelagede ja välisseina sõlmedes ning avatäidete ümbruses.

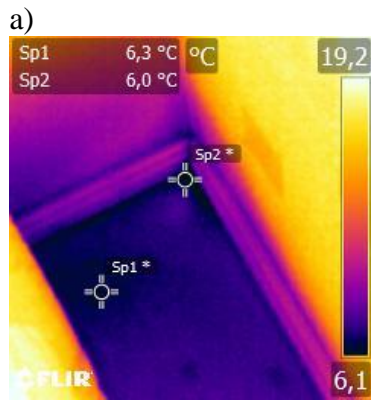


Joonistel 25-27 on näha iga maja probleemne 1. korruse põranda ning välisseina liite külmasild. Esimese hoone puhul on kasutusel põrandaküte, mis oluliselt leevendab külmasilda. Teisel ja kolmandal hoonel ei ole põrandakütet, seetõttu tuleb eriti ilmekalt välja hoone külmasild. Teise hoone välisseinte äärses nurgas on põrandatemperatuur ligikaudu 6 °C, siinkohal tuleb mainida, et pildistamise ajal oli välistemperatuur -1 °C. Ka kolmanda hoone põrand ei olnud ülemäära soe. Elamu sokkel on täielikult soojustamata, kuid see-eest hoone põranda null on maja ümbritsevast pinnasest 70 sentimeetrit kõrgemal ning maja all on kelder, mille temperatuur on talvisel perioodil alati plussis. Pildistamise ajal oli keldris +7 °C.

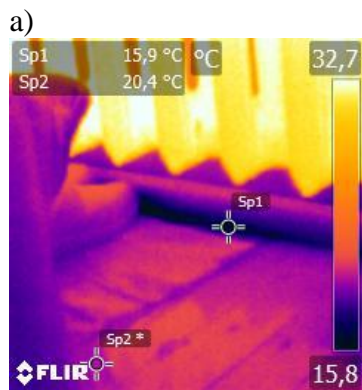
Arvutuslike temperatuuriindeksite järgi saab järeldada (tabel 10), et esimese hoone puhul ei ole kondensaadi tekkimise ohtu põranda ja sokli liitekohas. Teise hoone põranda ja sokli liitekohas on temperatuuriindeks 0,30. Niivõrd madal temperatuuriindeksi puhul on reaalne hallituse tekkimise oht, sest sobilik jahe ning niiske keskkond on selle tekkeks loodud. Kindlasti tuleks vältida antud kohas niiskust talletavate materjalide (nt pappkarbid, ajalehed jms) hoidmist. Pildistatud koht tuleks hoida asjadest puhas, et see saaks piisavalt tuulduda. Kolmanda hoone puhul ei kujuta antud külmasild endast ohtu hallituse tekkimiseks.



**Joonis 25.** Hoone 1 põranda ja vundamendi sõlm: a) termopilt b) tavaline pilt.



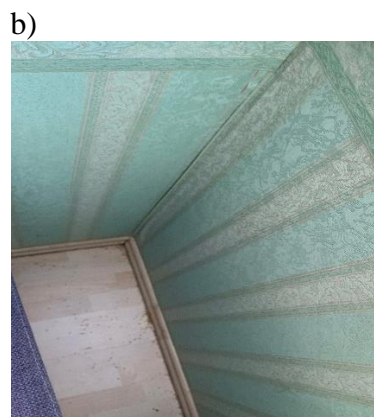
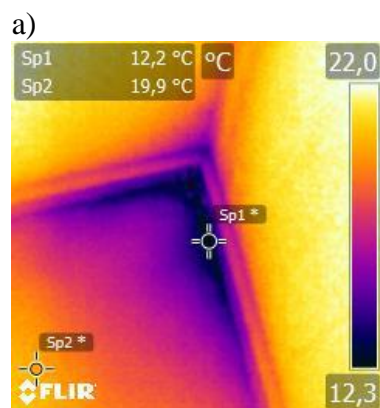
**Joonis 26.** Hoone 2 põranda ja vundamendi sõlm a) termopilt b) tavaline pilt.



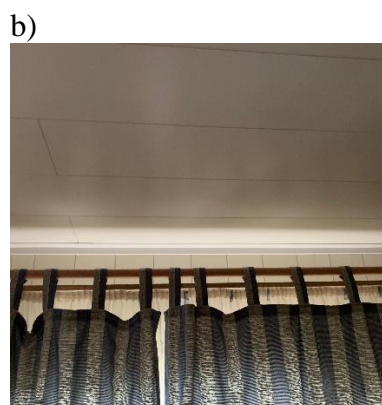
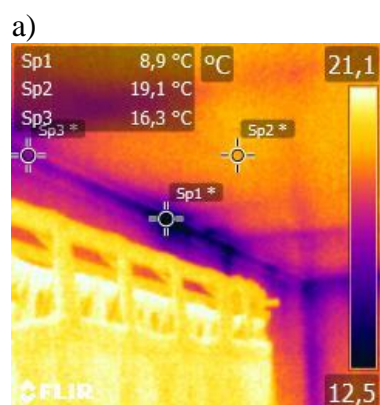
**Joonis 27.** Hoone 3 põranda ja vundamendi sõlm: a) termopilt b) tavaline pilt.

Vahelagede puhul oli esimese hoone 1. korruse lagi korralik, külmasildu kaameraga ei tuvastatud. Külmasild tuli välja hoopis 2. korruse otsaseina ning viilkatusega seotud seinanurgas. Toa nurgas olevas punktis Sp1 oli võrreldes 30 sentimeetrit kaugemal asuva punktiga Sp2 temperatuuride vahe üle 7 °C. Teise hoone puhul on joonisel 29 näidatud külmasillad terve hoone välisseina ja vahelae liite ulatuses. Liite kohas on kohati lokaalsed ümbritsevast oluliselt madalama temperatuuriga kohad Sp1. Piltide töötlemise käigus sai uuritud liite keskmist temperatuuri. Keskmine liite temperatuur on välja toodud punktiga Sp3 -16,3 °C. Rohkem lae keskel asuva punkti Sp2 temperatuur oli ligilähedane toatemperatuuriga, mis näitab, et probleemne koht on just liide. Kolmanda hoone puhul tuleb lisada, et pildistatud ruumis oli temperatuur üldiselt madal - 15 °C. Niigi madala temperatuuri juures oli liite kohas on temperatuur ümbritsevast 4 °C madalam.

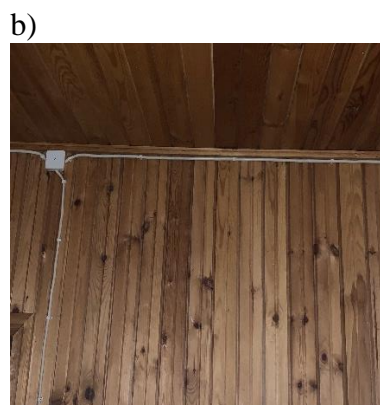
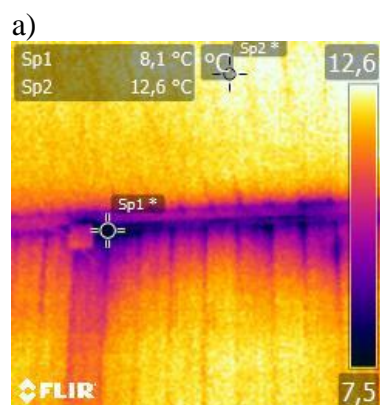
Temperatuuriindeksite kohaselt saab järeldada, et iga hoone puhul on joonistel märgitud külmemates punktides nii kondensaadi kui ka hallituse tekke ohtu. Külmemate punktide temperatuuriindeksid jäid vahemikku 0,41 kuni 0,57.



**Joonis 28.** Hoone 1 teise korruse põranda külmasild: a) termopilt b) tavaline pilt.



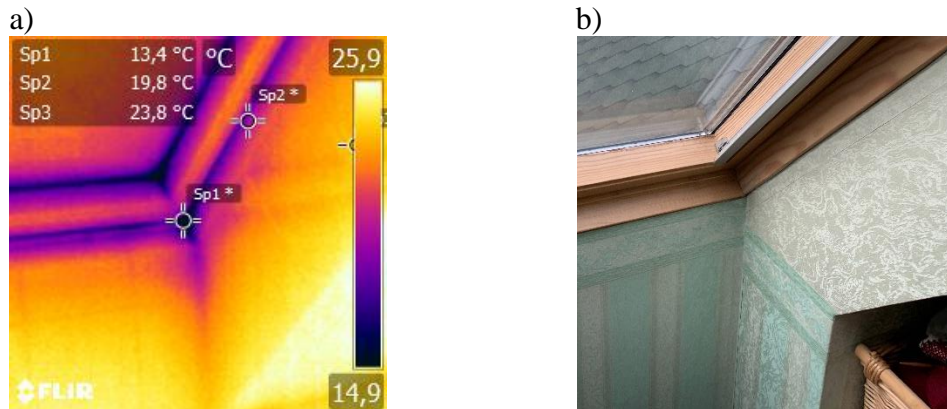
**Joonis 29.** Hoone 2 Vahelae külmasild: a) termopilt b) tavaline pilt.



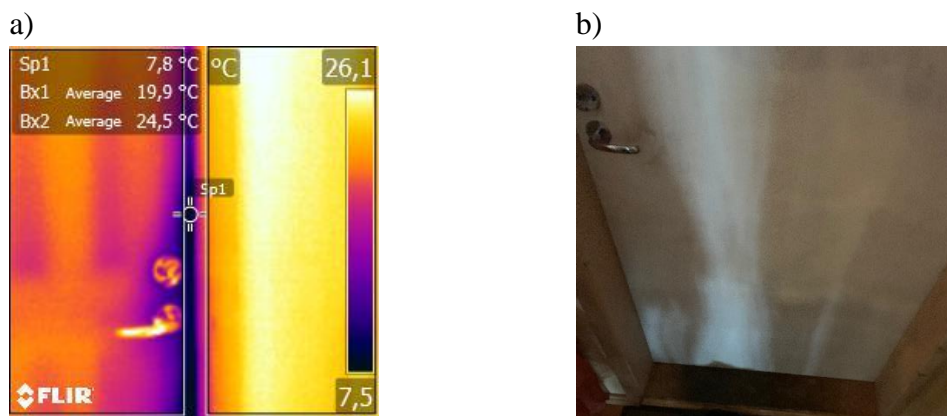
**Joonis 30.** Hoone 3 vahelae külmasild a) termopilt b) tavaline pilt.

Hoonete avatäidete puhul tuli ilmsiks, hoone 1 puhul korra juba remonditud katuseakna ümbrus (joonis 31), kus oli temperatuur 13,4 °C, mis on üle 10 °C madalam 20 sentimeetrit eemal asuvast punktist. Arvestatav külmasild esines kogu aknaraami ümbruses. Teise hoone puhul oli suureks külmasillaks terrassiuks. Joonisel 32a kuvatud ruutude keskmised temperatuurid olid 19,9 °C ja 24,5 °C. Vastavalt siis ukse ning kõrval asuva seina sisepinnatemperatuurid. Kolmanda hoone puhul probleemne koht oli keldriuks. Joonis 33a on tehtud normaaltingimustes ning selgelt on näha tuule puhumine ukse vahelt.

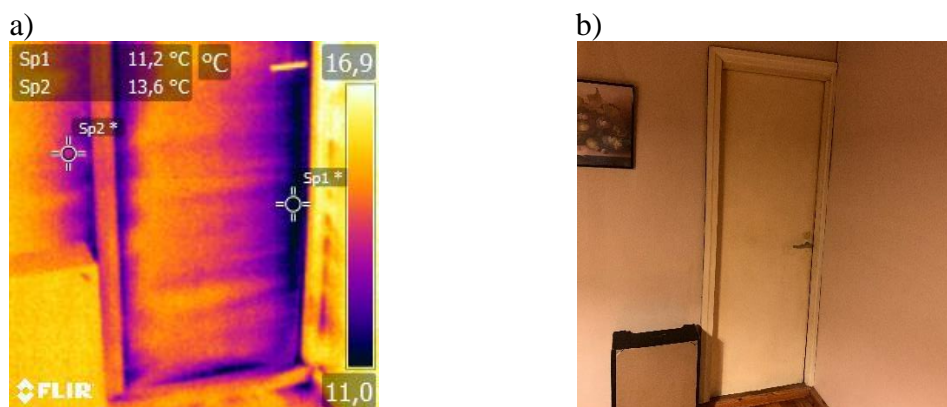
Temperatuuriindeksite analüüsist selgus esimese hoone katuseakna nurgas on oht hallituse tekkele. Ülejäänud raami ulatuses ei ole ohtu ei hallituse ega kondensaadi tekkele. Teise ja kolmanda hoone puhul saab arvutuste kohaselt öelda, et olemas on reaalne oht hallituse tekkeks. Kuna tegemist on tihedalt tuulutatavate kohtadega, leevendab see hallituse tekkimise ohtu.



**Joonis 31.** Hoone 1 akna külmasild: a) termopilt b) tavaline pilt.



**Joonis 32.** Hoone 2 rõduuks: a) termopilt b) tavaline pilt.



**Joonis 33.** Hoone 3 keldriuks: a) termopilt b) tavaline pilt.



**Tabel 10.** Temperatuuriindeksite väärtused.

Joonis	Sisetemp. $t_i$ [°C]	Välisemp. $t_e$ [°C]	Sp	Pinnatemp. $t_{si}$ [°C]	Temperatuuriindeks $f_{Rsi}$
25	25	-1	Sp1	17,1	0,70
			Sp2	20	0,81
26	23	-1	Sp1	6	0,29
			Sp2	6,3	0,30
27	19	-2	Sp1	15,9	0,85
			Sp2	20,4	1,07
28	25	-1	Sp1	12,2	0,51
			Sp2	19,9	0,80
29	23	-1	Sp1	8,9	0,41
			Sp2	19,1	0,84
			Sp3	16,3	0,72
30	19	-1	Sp1	8,1	0,57
			Sp2	12,6	0,85
31	25	-1	Sp1	13,4	0,55
			Sp2	19,8	0,80
			Sp3	23,8	0,95
32	23	-1	Sp1	11,2	0,51
			Sp2	13,6	0,61
33	19	-1	Sp1	11,2	0,61
			Sp2	13,6	0,73

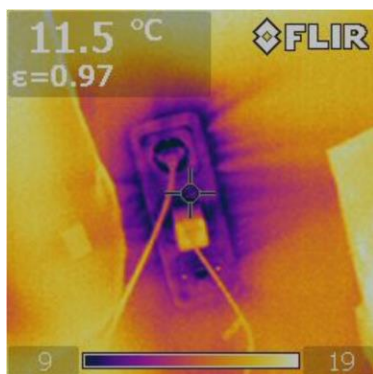
#### 4.4.2. Õhulekete tuvastamine

Alarõhu all pildistamisest selgus, et hoonetel on peamiselt samad probleemsed õhulekke kohad. Üldiselt võib lugeda probleemseteks kohtadeks kohad, kus esinesid ka külmasillad, lisaks oli väga levinud probleemseks kohaks välisseintes olevad pistikupesad. Märgata oli veel pragunenud siseviimistluse vahelt tuppa lekkivat õhku.

Joonisel 34 on näha välisseina puudulikust aurutõkke paigaldusest või mõnest tihendamata läbiviigust tekkinud õhuleke. Hoonel 2 puhul tegemist kahes seinas läbiva probleemiga.

Sama probleem esines igas majas, kuid teiste puhul mitte nii ulatuslikult. Lekke kõrvaldamiseks on tarvis leida tihendamata läbiviigud, mis nõuab seinakonstruktsiooni lahti võtmist kuni aurutõkkekihi.

a)



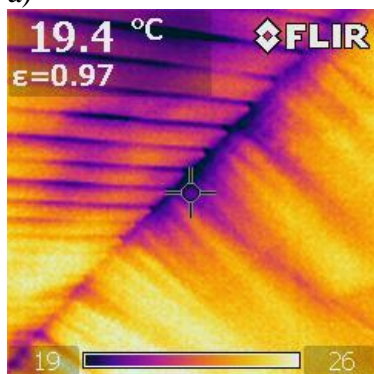
b)



**Joonis 34.** Õhulekkega pistikupesa: a) termopilt b) tavaline pilt.

Joonisel 35 on näha esimese hoone pööningu vahelae ning katuse liite juurest õhuleket. Leke esineb kogu teise korruse ulatuses. Lekke kõrvaldamiseks tuleb pööningu ning katuselae vahelise osa kihi aurutõkke ühenduskohti inspekteerida. Tuvastatud lekkekohad täiendavalt õhutihedaks teipida.

a)



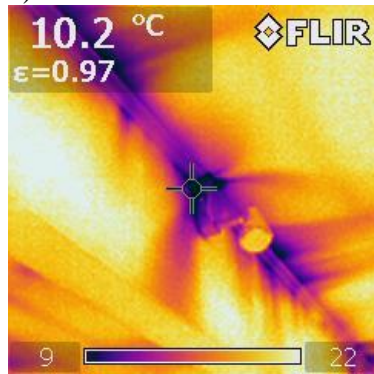
b)



**Joonis 35.** Pööningu vahelae ja katuse liide: a) termopilt b) tavaline pilt.

Sarnaselt esimesele hoonele esines teise hoone pööningu vahelaetalade äärtes ulatuslikke õhulekkeid joonis 36. Kahte maja eristas tõsiasi, et esimese hoone puhul oli sisse lekkiv õhk olulisel määral soojem, kui seda oli teis hoone puhul. Teise hoone puhul oli sisetemperatuuriga võrreldes temperatuuride erinevus 14 °C. Niivõrd madala temperatuuri põhjuseks on tuulutatav soojustamata katusekonstruktsioon ning puudulikult soojustatud pööningu vahelagi. Piltide järgi otsustades tuleb üle vaadata pööningu vahelae aurutõke ning need õhutihedaks teipida.

a)



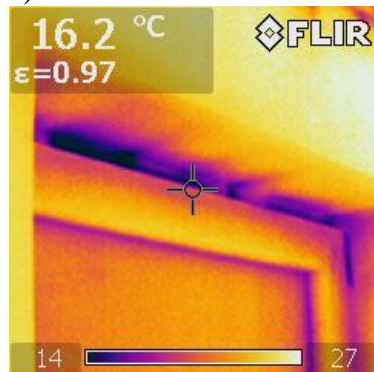
b)



**Joonis 36.** Mitte õhutiheda vahelaetala ümbrus : a) termopilt b) tavaline pilt.

Igal hoonel leitud aknaid, millel on sarnaselt joonisega 37 esinevaid õhulekkeid. Õhulekete põhjuseks on purunenud ning elastsed omadused kaotanud tihendid. Probleem on lihtsasti likvideeritav, kui vahetada akendel tihendid.

a)



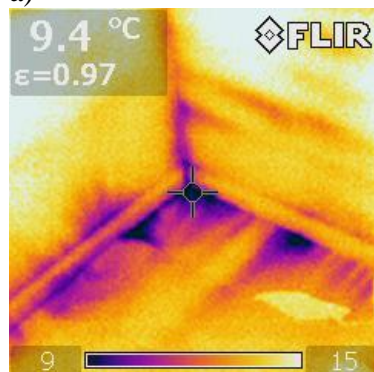
b)



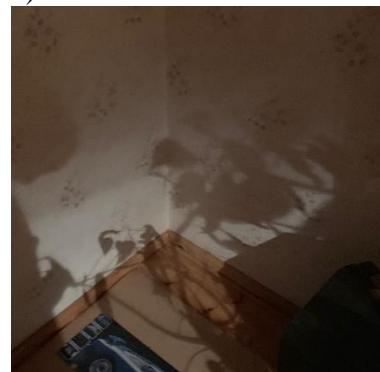
**Joonis 37.** Suletud akna õhuleke : a) termopilt b) tavaline pilt.

Samuti esines sarnaselt joonisel 38 kõikides hoonetes õhulekkekohti põranda ja välisseina liides. Ka selle probleemi põhjuseks nõuetekohaselt paigaldamata aurutõke. Probleemi lahendamine nõuab konstruktsiooni lahti võtmist.

a)



b)

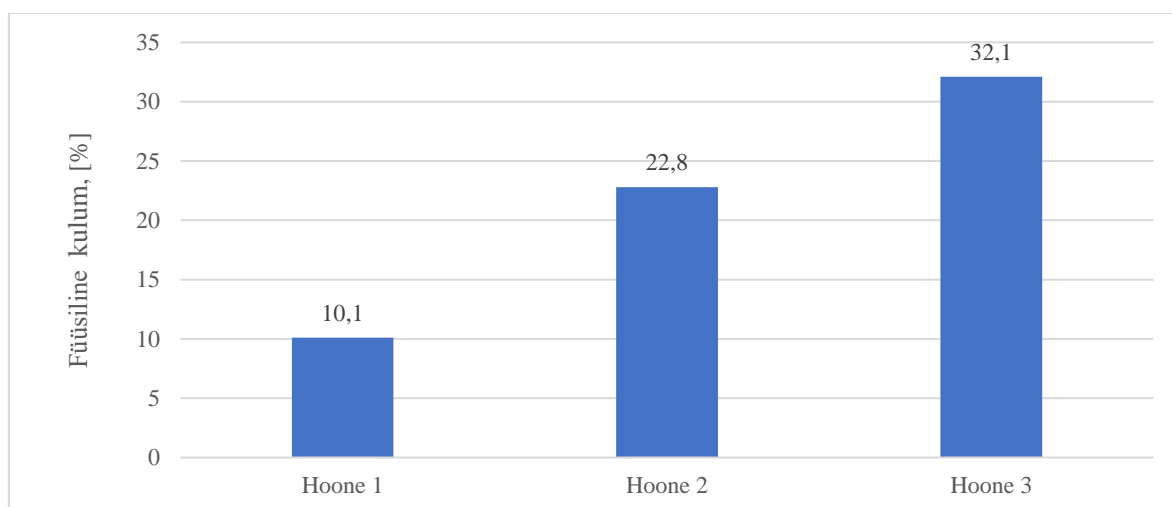


**Joonis 38.** Põranda ja sokli liite õhuleke : a) termopilt b) tavaline pilt.

## 4.5. Hoone tehniline seisukord

Hoone tehnilise seisukorra hindamisel kasutati Eesti Riikliku Elamuameti poolt kinnitatud dokumendi „Hoonete füüsilise kulumise määramise tabelid“. Veel kasutati antud dokumendi lisa, mis sai koostöös Eesti Maaülikooli õppejõududega korrigeeritud. Täidetud tabelid on esitatud lisade all (lisa 2). Hoone füüsilise kulumise arvutamisel võeti arvesse lisaks visuaalsele vaatlusele ka eelnevalt teostatud testide tulemusi. Kindlasti ei anna esitatud protsendid hoone seisukorra kohta täit tõde, kuna kohati ei ole teada hoone ehitusel kasutatud materjalid ning puudub teadmine hoone konstruktsioonelementide seisukorrast. Täpsema tulemuse saamine nõudnuks hoonete konstruktsiooni mõningast lahti võtmist, mida antud lõputöö raames ei tehtud. Tulemused on saadud lõputöö kirjutaja antud hinnangute järgi ning on subjektiivsed.

Hoonete füüsilise kulumise arvutamise tulemus on esitatud alljärgnevas tabelis 39. Täpsemad hoonete peamised puudused on välja toodud hooneid eraldi puudutavates peatükkides.



**Joonis 39.** Hoonete füüsilise kulumise võrdlustabel.

Hoonete füüsilise kulumise tabel näitab selgelt, et parimas seisus hoone on esimene uuritav hoone. Selgelt halvimas seisus on kolmas uuritud hoone. Saadud järjestust võis eeldada eelnevate peatükkide põhjal.

### 4.5.1. Hoone 1

Madalaima füüsilise kulumise protsendiga hoone peamised murekohad on siseviimistluse-, sokli ja vundamendi ning välisseinte, terrasside ja rõdude seisukord. Teised väärtused olid sedavõrd väikesed, et nende osatähtsus on sisuliselt olematu.



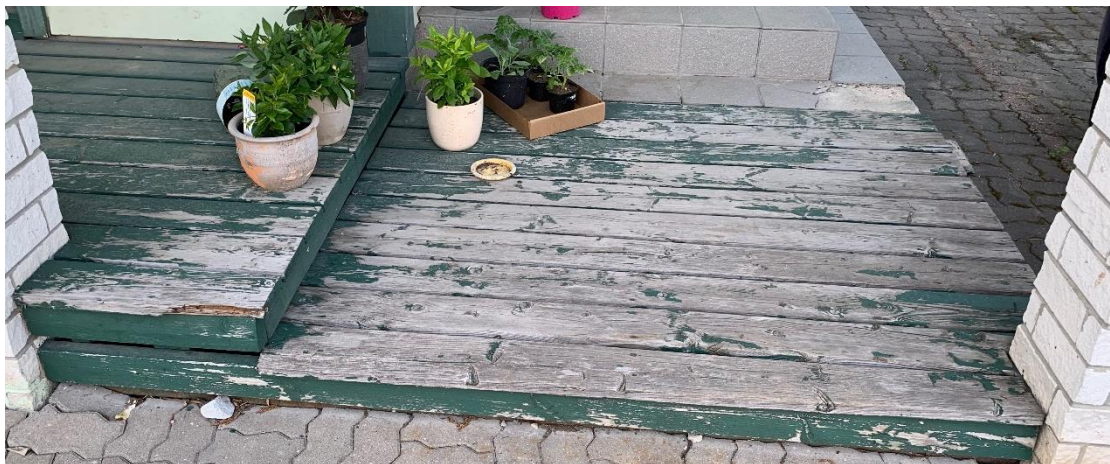
Teadmata hoone vundamendi soojustuse paksust, julgen eeldada, et see vajab lisa soojustuskihti. Hoone 1. korruse põrandal on kasutatud põrandakütet, mis ei lasknud külmasillal niivõrd hästi esile tulla, kuid küttekulude vähendamise eesmärgil tasuks see siiski paksemalt soojustada. Kui vundamenti/soklit juba soojustama hakatakse, siis ei pääse üle ega ümber sokli uuesti viimistlemisest. Hetke sokli viimistluse seisukord on pigem kehv. Armeeritud sokkel on kogu ulatuses kahjustusi täis (Joonis 40). Kahjustused ulatuvad mõradest kuni suurte armeeringu kahjustusteni.



**Joonis 40.** Sokli defektid.

Lisaks sellele, et hoone vajab välisviimistluse värskendamist, tuleb mõelda ka selle seinte soojustamisele. Hoone olemasoleva soojustamise asendamise puhul on võimalik saavutada piisav U-arv nii, et seina paksus ei muutuks. Kui jätta alles olemasolev soojustus ning lisada lisa kiht soojustust, siis tuleb arvestada seinte väligabariitide olulise suurenemisega, mis tähendaks olemasoleva vaid värvimist vajava laudise asendamist uuega. Antud juhul arvestasin kulumi protsendi andmisel lisasoojustusega ning laudise vahetusega.

Hoone terrassi kandev konstruktsioon on pigem korralik, puuduvad märgatavad vajumised. See-eest vajab terrassilaudis terves osas värskendust ning kohati tuleb vahetada mõned purunenud lauad. Joonisel 41 on näha terrassi kahjustused.



**Joonis 41.** Terrassi kahjustused.

Hoones siseviimistluse osa on suuresti subjektiivne. Siseviimistluse kulumi protsendi andmisel arvestasin materjali viimistlusmaterjali värskusega, paigaldusega ning selle seisukorraga. Hindamisel leidsin, et maja siseviimistlus vajaks mõningast uuendamist. Silma jäi just kohati pleekinud ning toa nurkades purunenud tapeet. Samuti on laeplaadid ja -liistud kohati lahti (joonis 42.)



**Joonis 42.** Lae defektid.

Joonisel 42 olevad defektid võivad tulla õhuleketest. Kuna väliseinte ja vahelae liite juures on arvestatavad õhulekked. Viimistlusmaterjalini jõudnud niiskem välisõhk imendub viimistlusmaterjali. Niiskuse imendumise tagajärjel muudab materjal oma esialgset kuju. Materjal hakkab „punnitama“ ning liigub omalt kohalt

Lisaks eelpool mainitule tuleb veel esile tõsta tõsiasia, et hoone alarõhu testi ajal oli tunda, et vingu lekib majja. Kindlasti vajab lekkiv koht tuvastamist ning kõrvaldamist. Veel oleks vaja radiaatoreid õhutada, kuna oli tunda, et päris ühtlaselt need soojad ei olnud. Olemasolev katusekate täidab täielikult oma eesmärgi, võiks välisilme parandamise mõttes siiski selle samblast puhastada.

#### 4.5.2. Hoone 2

Teise uuritava hoone füüsilise kulumi protsent on ligikaudu 20 (joonis 39). Hoone füüsilise kulumi suurimaks mõjutajaks on vundamendi/sokli osa 7,5 protsendiga. Veel mõjutasid suurel määral välisseinte, põranda, vahelae ning avatäidete seisukord.

Hoone sokli/vundamendi peamiseks probleemiks vähene soojustus. Puudulik soojustus annab selgelt tunda välisseina ja põranda liitekohas, eriti ilmekalt hoone nurkades. Samuti on paigaldatud sokli plaadid suurel määral lahti tulnud (joonis 43). Hoone sokkel vajab kindlasti lisasoojustust ning sokliplaatide korraliku kinnitamist. Lisaks vundamendi soojustamisele tuleks pöörata tähelepanu seepool vundamendi ääres olevale horisontaalsele lisasoojustusele. Lisasoojustust on paigaldatud meetri ulatuses 50 mm vahtpolüstüreenplaatide näol. Põrand tuleks lahti võtta ning hoone välisseinte äärde lisada 100 mm vahtpolüstüreen plaat.



**Joonis 43.** Lahtised sokliplaadid.

Vahelae puhul on tähtis tuvastada aurutõkkes olevad augud või lahtised ühenduskohad. Samuti on tarvis olemasolevat soojustus kohendada ning väiksemate soojakadude saamiseks paigaldada lisasoojustus.

Hoonel üheks suurimaks õhulekke kohaks olid välisuksed. Hoone välisusteks on kasutatud väliskeskkonda mitte sobivaid soojustamata uksi (joonis 44). Väliskeskkond on ajanud teinud ustega oma töö ning ukseid ei ole enam sümmeetrilised, mistõttu on tekkinu uste ning ukseraami vahele praod, kus talvine külm õhk hõlpsasti majja sisse tuleb.





**Joonis 44.** Välitingimustesse mitte sobiv välisuks.

Samuti vajab hoone siseviimistlus värskendust. Sarnaselt esimesele hoonele on lahtiseid liiste, leidus lainetavaid laeplaate, osaliselt lahti tulnud tapeedi paane jpm.

#### **4.5.3. Hoone 3**

Kolmas hoone on selgelt suurima füüsilise kulumi protsendiga. Kõige suurema osa moodustab sellest vundamendi ning sokli osa. Antud osa on niivõrd suure osatähtsusega kuna majal on keldrikorrus täies ulatuses välja ehitatud. Veel on märkimisväärselt kõrge kulumi protsendiga siseviimistlus, välisseinad ning põrandad.

Hoone suurimaks probleemseimaks konstruktsiooniks tuleb lugeda vundamenti. Vundamendile ei ole paigaldatud hüdroisolatsiooni ning samuti on vundamendis läbiviigud tihendamata (joonis 45). Seetõttu on kevadisel sulamise perioodil vett täis kelder iga-aastane nähtus. Lisaks puudub vundamendil terves osas soojustus, mistõttu pääseb talvel külm vundamendi kaudu kergelt majja.



**Joonis 45.** Tihendamata läbiviigud keldris.

Maja siseviimistlus on suurel määral amortiseerunud. Dušši ruumis on seintest plaate puudu, eluruumide põrandalauadel suured kahjustused. Samuti on eluruumide seintes tapeet määrdunud ning krohvitud seinad pragulised. Hoone siseviimistluse värskendamisel on otstarbekas paigaldada seinasisene kaabeldus. Hoone eluruumide põrandate värskendamisel on piisav, kui olemasoleval laudisel teostada kohtparandused, tervenisti lihvida ning seejärel peale kanda lakikiht.



**Joonis 46.** Amortiseerunud viimistlus ning pinnapealne kaabeldus.

Hoone avatäideteks on kasutatud ühe paketiiga topelt aknaid. Aknad on selgelt hoone suurimad külmasillad. Samuti on keldriuks kummi tõmmanud, mistõttu tuleb ukse vahelt keldis olevat jahedat õhku.

## **5. ETTEPANEKUD HOONE TEHNILISE SEISUKORRA PARENDAMISEKS**

Hoonega teostatud testide tulemuste analüüsi ning tehnilise seisukorra hindamise põhjal on käesolevas peatükis tehtud hoone tehnilise seisukorra ning sisekliima parendamiseks mõningaid ettepanekuid. Suurimat tähelepanu on pööratud hoonete välispiirete U-arvu tõstmisele.

Hoonete välispiirete U-arvu saavutamisel arvestati Eestis Vabariigis ajavahemikus 09.01.2013 kuni 31.12.2018 kehtinud määrusega, mis sätestas hoonete energiatõhususe miinimumnõuded. Määruses oli sel ajaperioodil sätestatud soovituslikud välispiirete soojuslähivuse nõuded järgmised:

- Välissein – 0,12 kuni 0,22 W/(m<sup>2</sup>·K);
- Katus ja põrand – 0,1 kuni 0,15 W/(m<sup>2</sup>·K);
- Avatäited – 0,6-1,1 W/(m<sup>2</sup>·K). [23]

### **5.1. Parendatud konstruktsioonid**

Konstruktsioonid U-väärtused on arvutuslikud ning neid ei saa võtta täielikult tõepähe. Ühegi hoone puhul ei ole teada kasutatud materjalide tehnilisi näitajaid, samuti ei ole teada kas materjalid paigaldati nõuetekohaselt. Lisaks muutuvad materjalide soojusjuhtivuse tegurid ajas. Võttes arvesse testide tulemusi, on põhjust materjalide nõuetekohase paigaldamise osas kahelda.

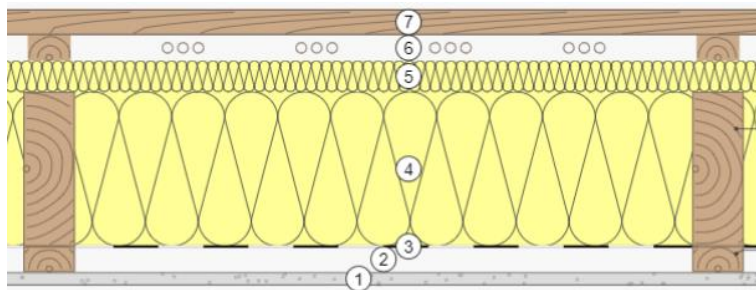
Kasutatud väärtused on võetud [ubakus.de](http://ubakus.de) U-väärtuse arvutamise veebisaidil pakutavatest materjalide valikust. Ainsana on ise programmis defineeritud linaluu tehnilised näitajad.

#### **5.1.1. Hoonete esialgsed konstruktsioonid**

Hoonete esialgsete sõrestikseinte konstruktsioonide arvutuslik soojusjuhtivus on vahemikus 0.231 - 0,278 W/(m<sup>2</sup>·K) (joonised 47-49). Antud vahemiku väärtused on halvemad kui kuni 31.12.2018 kehtinud määruse järgi sätestatud soovituslik. Eeldusel, et kõik konstruktsioonis kasutatud materjalid on paigaldatud nõuetekohaselt, on tagatud konstruktsiooni piisav tuuldumine ning puudub niiskuse kondenseerumise oht. Lisaks seinakonstruktsioonidele on välja toodud teise hoone laekonstruktsioon ning selle hoone arvutuslik soojusjuhtivus.

Esimese hoone seina arvutuslik U-väärtus on  $0,231 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , mis on uuritavatest hoonetest parima näitajaga. Seina soojustuskihtideks on 150 mm mineraalvilla ning 30 mm tuuletõkkeplaat. Joonise 47 seinakonstruktsiooni kihid on välja toodud alljärgnevas listis:

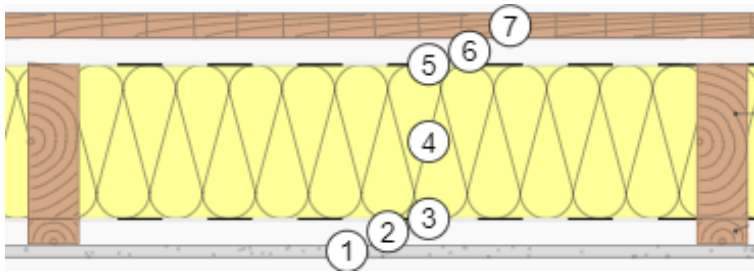
1. Kipsplaat 13 mm;
2. Vertikaalne roovitus 25x50 mm;
3. Aurutõke;
4. Mineraalvill 150 mm, 150x50 mm puitkarkass;
5. Tuuletõkkeplaat 30 mm;
6. Tuulutusvahe, vertikaalne roovitus 22x50 mm;
7. Horisontaalne laudis 21 mm.



**Joonis 47.** Hoone 1 praegune seinakonstruktsioon,  $U = 0,231 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Teise hoone esialgne seinakonstruktsioon on sarnane esimesega, kuid erinevalt esimesest hoonest ei ole teise hoone puhul kasutatud tuuletõkkeplaati ning soojustuse väliskihis on ehituspaber. Ilma tuuletõkkeplaadita on saavutatud välisseina arvutuslikuks soojusjuhtivuseks  $0,268 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ , mis võrreldes esimesega on 0,037 võrra halvem. Joonise 48 konstruktsiooni kirjeldus on alljärgnevas loetelus:

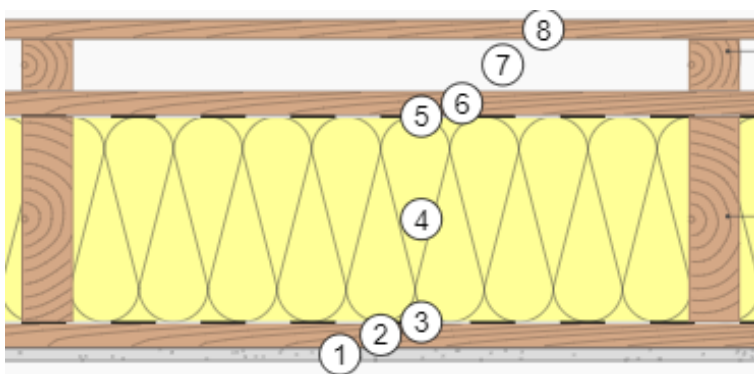
1. Kipsplaat 13 mm;
2. Õhuvahe, vertikaalne roovitus 25x50 mm;
3. Aurutõkkepaber;
4. Mineraalvill 150 mm, 150x50 mm puitkarkass;
5. Ehituspaber;
6. Tuulutusvahe, horisontaalne roovitus 22x50 mm;
7. Vertikaalne laudis 21 mm.



**Joonis 48.** Hoone 2 praegune seinakonstruktsioon,  $U = 0,268 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Kolmanda uuritava hoone seinakonstruktsioon erineb esimesest kahest täitematerjali poolest. Kolmanda hoone soojustusmaterjalina on kasutatud linaluud. Linaluu on paigaldatud 50x200 mm karkassipostide vahele. Soojustuskihi paksus on eelnevatest konstruktsioonidest suurem, kuid hoone  $U$ -väärtus halvim -  $0,278 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Kehva  $U$ -arvu taga on linaluu oluliselt suurem soojusjuhtivustegur. Võrreldes mineraalvillaga on nende vahe ligi kahekordne. Joonise 49 konstruktsioonikihtide kirjeldus on alljärgnevas listis:

1. Kipsplaat 13 mm;
2. Horisontaalne laudis 19x100 mm;
3. Ehituspaber;
4. Linaluu 200 mm, 200x50 mm puitkarkass;
5. Ehituspaber;
6. Horisontaalne laudis 19x100 mm;
7. Tuulutusvahe, vertikaalne roovitus 50x50 mm;
8. Vertikaalne laudis 19 mm.



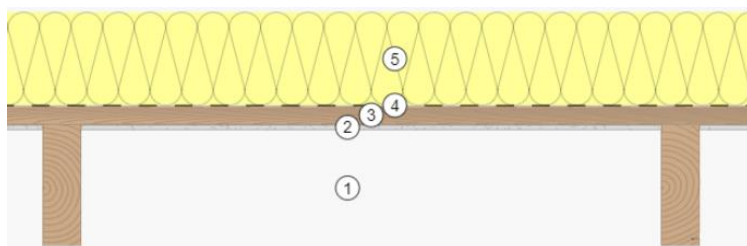
**Joonis 49.** Hoone 3 praegune seinakonstruktsioon  $U = 0,278 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Teist hoone alarõhu all termografeerides tuli välja vahelae talade vahedelt lekkiv väga jahe õhk. See viitab nii lokaalsele puudulikule soojustuskihile, kui ka õhulekkele läbi aurutõke kihi. Joonisel 50 on 2. uurimisobjekti esialgne pööningu vahelaekonstruktsioon. Antud



konstruktsiooni arvutuslik soojusjuhtivus on  $0,229 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Joonise 50 kihtide loetelu on toodud alljärgnevas listis:

1. Liimpuittalad  $100\times 300 \text{ mm}$ , s.  $2500 \text{ mm}$ ;
2. Kipsplaat  $13 \text{ mm}$ ;
3. Laudis  $19\times 100$ , s.  $200 \text{ mm}$
4. Ehituspaber;
5. Puistevill  $300 \text{ mm}$ .



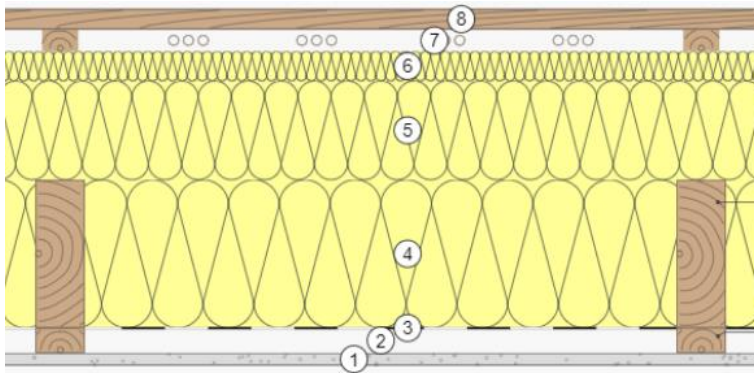
**Joonis 50.** Hoone 2 olemasolev vahelae konstruktsioon  $U = 0,229 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

### 5.1.2. Hoonete parendatud konstruktsioonid

Hoonete välispiirete konstruktsioonide parendamiseks on esmalt tarvilik eemaldada välimised kihid, vähemalt kuni tuulutusvaheni. Kindlasti tuleb veenduda enne uute kihtide paigaldamist planeeritavate alles jäävate kihtide seisukorras. Kontrollida aurutõkke seisundit – veenduda selle õhutiheduses. Vajadusel teipida üle liited ning purunenud kohad. Kuna purunenud aurutõke tagune kiht on suurima potentsiaalse kahjustusega koht, siis on vajalik täpsemalt soojustuse inspekteerimiseks aurutõkke osaline lahti võtmine. Soojustuskihi seisukorda kontrollides veenduda, et sel puudusid niiskuskahjustused, näriliste poolt tekitatud käiguteed ning teised ebaloomulikult suured õhuvahed. Probleemide kõrvaldades paigaldada kindlasti tagasi aurutõke.

Uute konstruktsioonide tegemisel lähtuti kuni 2018. aasta lõpuni kehtinud energiatõhususe nõudeid sätestava määruse soovitustest, mistõttu on esitatud seinakonstruktsiooni arvutuslik soojusjuhtivus alla  $0,22 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  ning vahelael väiksem kui  $0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Lisasoojustusega esimese hoone seinakonstruktsiooni soojusjuhtivuse väärtuseks on  $0,135 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  (joonis 51). Välisseina soojustamisel jätta esialgne karkassipostide vaheline soojustus alles, eemaldada vaid tuuletõkkeplaat ning sellest väljapoole jäävad kihid.

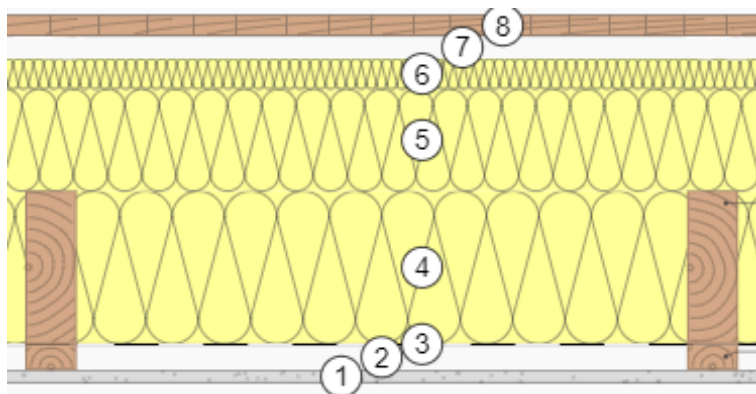


**Joonis 51.** Hoone 1 väljapakutud seinakonstruktsioon,  $U = 0,135 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Hoone lisasoojustamisel tuleks paigaldada horisontaalne roovitus karkassiprusside peale, see täita 100 mm mineraalvillaga ning see kiht omakorda katta 30 mm tuuletõkkeplaadiga. Fassaadilaudise puhul pakun välja horisontaalse laudise, mis tuleb kinnitada tuulutusvahe eesmärgil paigaldatud vertikaalsele roovitusele. Loetelu kirjeldatud konstruktsioonist:

1. Kipsplaat 13 mm;
2. Roovitus 25x50 mm;
3. Aurutõke;
4. Mineraalvill 150 mm, 150x50 mm puitkarkass;
5. Mineraalvill 100 mm, 100x50 mm horisontaalne roovitus;
6. Tuuletõkkeplaat 30 mm;
7. Tuulutusvahe, vertikaalne roovitus 22x50 mm;
8. Horisontaalne laudis 21 mm.

Teise hoone lisasoojustusega seinakonstruktsiooni arvutuslikuks  $U$ -väärtuseks on  $0,131 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Vanast konstruktsioonist jäi alles kõik, mis oli välimisest ehituspaberist seespool. Seina soojustada sarnaselt esimesele hoonele. Kuna antud hoone puhul oli algselt kasutusel vertikaalne fassaadilaudis, siis joonisel 52 pakutud lahenduses on samuti välja pakutud vertikaalse laudisega lahendus. Vertikaalse laudise puhul tuleb paigaldada tuulutuskihi roovitus horisontaalselt.



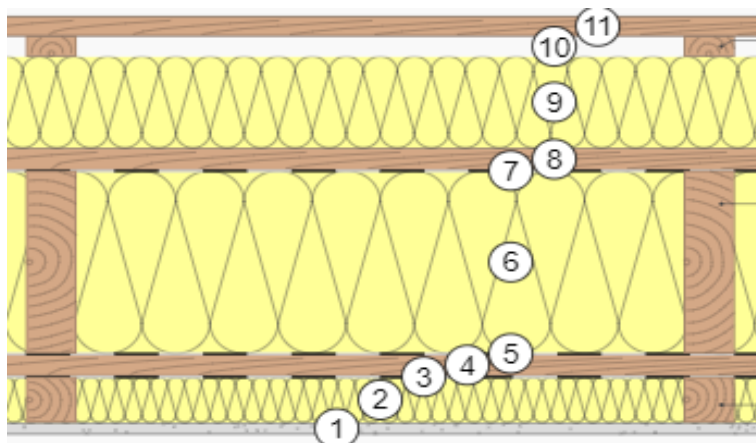
**Joonis 52.** Hoone 2 lisasoojustusega seinakonstruktsioon,  $U = 0,131 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Kuna antud hoones oli kahes seinas suured õhulekked, siis soovitan avada konstruktsiooni seest poolt, et tuvastada parandada õhulekke kohad. Samal ajal inspekteerida olemasolevat soojustust, veenduda niiskuskahjustuste puudumises. Kui leidub niiskuskahjustusi, siis vähemalt lokaalselt asendada soojustusmaterjal. Aurutõkke paranduste tegemata jätmisel enam kui tõenäoline uute niiskuskahjustuste tekkimine. Väljapakutud konstruktsiooni kihtide kirjeldus:

1. Kipsplaat 13 mm;
2. Õhuvahe, vertikaalne roovitus 25x50 mm;
3. Ehituspaber;
4. Mineraalvill 150 mm, 150x50 mm puitkarkass;
5. Mineraalvill 100 mm, 100x50 mm horisontaalne roovitus;
6. Tuuletõkkeplaat 30 mm;
7. Tuulutusvahe, horisontaalne roovitus 22x50 mm;
8. Vertikaalne laudis 21 mm.

Hoone aurutõkkest sissepoole jääva osa võib täita ka mineraalvillaga, kuid see eeldaks 25 mm paksuse roovitise asendamist 50 mm paksuse roovitise. Otseselt ei ole see vajalik, kuna juba on saavutatud piisav  $U$ -arv, kuid see tagaks veel parema soojuslähivusega seinakonstruktsiooni.

Kolmanda hoone lisasoojustuse paigaldamise jätta samuti alles täies ulatuses esialgne soojustus. Hoone väliskihti paigaldada horisontaalne 100 mm roovitus, et selle vahele paigaldada mineraalvill. Fassaad viimistleda horisontaalse laudisega. Laudise alla peab jääma tuulutusvahe. Tuulutusvahe 22 mm on piisav, et tagada konstruktsiooni piisava tuulutus.

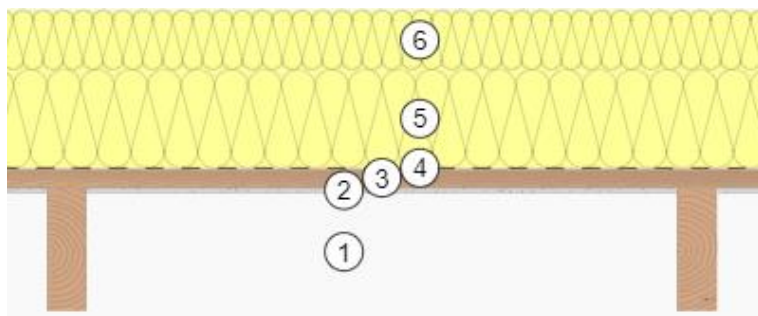


**Joonis 53.** Hoone 3 lisasoojustusega seinakonstruktsioon  $U = 0,130 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Hoone siseseinad tuleb samuti avada. Konstruktsioon tuleb avada seest poolt kuni karkassi külge kinnitatud laudiseni. Laudisele paigalda aurutõkkekile. Aurutõkkekilele paigaldada 50x50mm roovid, mille vahelt sein veel soojustada 50 mm mineraalvillaga, misjärel võib paigaldada kipsplaadid. Joonise 53 konstruktsioonis kasutatud materjalid:

1. Kipsplaat 13 mm;
2. Vertikaalne roovitus 50x50 mm, mineraalvill 50 mm;
3. Aurutõke
4. Horisontaalne laudis 19x100 mm;
5. Ehituspaber;
6. Linaluu 200 mm, 200x50 mm puitkarkass;
7. Ehituspaber;
8. Horisontaalne laudis 19x100 mm;
9. Vertikaalne roovitus 50x100 mm, mineraalvill 100 mm
10. Tuulutusvahe, vertikaalne roovitus 22x50 mm;
11. Vertikaalne laudis 19 mm.

Teise hoone lisasoojustusega vahelae konstruktsioon on esialgsest ligi kaks korda madalama soojusjuhtivusega. Konstruktsiooni puhul on lisatud vaid 150 mm mineraalvilla. Kõik muu on jäetud pealt poolt puutumata.



**Joonis 54.** Hoone 2 lisasoojustusega vahelagi,  $U = 0,119 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

Joonise 54 konstruktsiooni kasutatud materjalid:

1. Liimpuittalad 100x300 mm, s.2500 mm;
2. Kipsplaat laetalade vahel 13 mm;
3. Laudis 19x100, s. 200 mm
4. Ehituspaber;
5. Puistevill 300 mm;
6. Minraalvill 150 mm.

Algsel konstruktsiooni iseloomustasid suured õhulekked, mistõttu on vajalik see õhutihedaks muuta. Odavaim variant parandada õhu lekkimist pööningult eluruumidesse oleks kipsi ja laetala ühendus teipida eluruumi poolt aurutõkketeibiga. Seejärel paigaldada laetala ja lae ühenduskohta aurutõkketeibi katmiseks laiem laeliist või paksem köis. Kulukam ning professionaalsem variant oleks puistevilla eemaldamine ning lae roovitusele uue aurutõkke kihi paigaldamine. Selline tegutsemine tooks kaasa oluliselt rohkem lisatööd. Kuna pööning on tuulutatav, siis ei ole karta niiskuse teket soojustuskihtidesse. Mistõttu leian, et võib otsustada odavama variandi kasuks.

## 5.2. Üldised ettepanekud

Iga hoone puhul oli asju, mis vajavad suuremal või väiksemal määral ülevaatamist. Antud lõputöös ei ole mõistlik kõiki neid üksikasjalikult käsitleda, kuid siinkohal pean vajalikuks anda mõned nõuanded, mis aitavad luua hoones paremat sisekliimat.

Küttesüsteemide poole pealt soovitaksin teise hoone elanikel kaaluda puuküttekatel vahetada välja näiteks pelletiküttel katla vastu, mida saab panna automaatselt toimima. Lisaks mugavusel hoiab termostaadiga katlasüsteem talvisel perioodil hoones ühtlaselt

soovitud temperatuuri. Hetkel on hoone temperatuuride kõikumine väga suur kütteperioodide vahel.

Radiaatorite osas tuleks igas majas neid õhutada. Teise maja puhul, kus vaatamata õhutamisele radiaatorid enam ühtlaselt kuumaks ei läinud tuleks proovida termoventiili puhastamist, mis võib olla kinni jäänud ning enam ei suuda piisavalt sooja vett radiaatorisse lasta. Kui see ei aita, siis kaaluda kogu süsteemi läbipesu või probleemsete radiaatorite väljavahetamist.

Igas hoones leidsid avatäiteid, mis vajasisid mõningast tähelepanu. Kõigis hoonetes on aknaid, mille ümbrused vajavad õhutihedamaks muutmist. Sellele tuleks tähelepanu pöörata, kui hakatakse hoonel põhjalikumaid renoveerimistöid tegema. Lisaks on esimese hoone puhul tarvilik vahetada akendel tihendid, ühegi välisseinas oleva avatäite vahetamine selles majas vajalik pole. Teise ja kolmanda uuritud hoone puhul tuleks tõsiselt kaaluda välisuste väljavahetamist. Eluruumidest uksega eraldatud esiku puudumisel tuleks kindlasti kasutada piisava termoisolatsiooniga põhjamaade kliimasse sobivad uksi. Sama tähelepanu tuleb pöörata akende valiku tegemisel. Avatäidete soojuslähivus peab vastavalt eelmise aasta lõpuni kehtinud määruse järgi jääma vahemikku  $0,6\text{--}1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  [23].

Kui hooned peaksid saama õhutihedaks ning korralikult soojustatud, siis võib tekkida vajaduse installeerida hoonetesse ventilatsioonisüsteem, ning miks mitte ka suvisele perioodile mõeldes jahutussüsteem. Teisel hoonel oli olemas küll looduslik ventilatsioon, kuid andud süsteem ei pruugi olla piisav, et varustada eluruumid piisava värske õhuga. Teistel hoonetel puudus ventilatsioonisüsteem eluruumides täielikult. Ventilatsiooni puhul tuleks kindlasti lasta teha projekt, et tagada igas ruumis piisav õhuvahtus ilma ebameeldivalt kõrge mürataseme ning tuulekiiruseta.

## KOKKUVÕTE

Käeoleva lõputöö raames uuriti kolme taasiseseisvunud Eesti ajal ehitatud puitsõrestikkarkassil elumaja. Hoonete valmimise aeg varieerus ajavahemikul 1999-2006, ehitusperiood oli 2, 3 ja 7 aastat ning kõikides hoonetes on sees elanud vaid üks perekond.

Lõputöös uuritavate hoonete kõik katsed teostati talvisel perioodil. Temperatuuri ning õhuniiskuse parameetrite mõõtmised toimusid jaanuar-märts perioodil. Termografeerimised normaaltingimustes ning alarõhu juures ja õhupidavuse testid teostati veebruari kuus iga hoone puhul samaaegselt. Hooneid külastati tehnilise seisukorra hindamise teostamise eesmärgil aprilli esimesel nädalal. Elanike küsitlus teostati samal ajal tehnilise seisukorra hindamisega.

Elanikud olid suures plaanis oma elamutega rahul. Peamised puudused elanike silmis kattuvad testidel saadud tulemustega. Positiivse koha pealt välja tuua elanike tervise. Ühelgi elanikul ei esinenud terviseprobleeme, mille võinuks tingida halva sisekliimaga hoone.

Hoonete sisekliima parameetreid analüüsides selgus, et iga maja elanikel on täiesti eri eelistused toatemperatuuri osas. Esimese hoone puhul hoiti keskmiselt toatemperatuuri 25 °C juures, teise hoone puhul 21 °C juures ning kolmandal eriti madalal – 18,5 °C. Kahel hoonel on väga hea automatiseeritud keskküttesüsteem, katlad suutsid hoida kogu kütteperioodi vältel üsna ühtlast temperatuuri. Ühel hoonel oli kasutusel puuküttekatel, mistõttu oli selgelt eristatav kõrge temperatuuri amplituud. Temperatuuride järgi otsustades kuulus esimene hoone III klassi, teise hoone temperatuur püsis miinus kraadide juures I klassi vahemikus, temperatuuri tõustes üle nulli langed hoone sisetemperatuur II klassi vahemikku. Kolmas hoone oli oma madala temperatuuri tõttu IV klassi piirides. Hoonete suhteline õhuniiskus oli mõõteperioodil madal. Vaatamata temperatuurile püsis hoonete niiskustase alla keskmise niiskustaseme piiri. Niiskustase jäi vahemikku 0,46 - 3,90 g/m<sup>3</sup>, kõrgeim näitaja salvestati -11 °C juures teisel uuritava hoonel. Üldiselt madalat niiskustase põhjustab hoonete pidev kütmine.

Termografeerimisel avastatud külmasillad olid peamiselt halvasti soojustatud soklid/vundamendid, kõlbmatud välispiirete ukseid ning vahelaed. Kohati on külmasildade juures loodud sobilikud tingimused kondensaadi ning hallituse tekkeks.

Alarõhu all termopiltide tegemisel avastati palju puuduliku aurutõkkega kohti. Puudulik aurutõke välisseintes tuli ilmekalt välja pistikupesade juures. Vahelagede ning põrandate puhul nende liidetes katuse või välisseintega. Samuti esines suuri õhulekkeid amortiseerunud tihenditega akende ning välistingimustesse mitte sobivate uste ümbrus.

Suuri lekkeid kinnitab ka hoone õhupidavuse test. Testide käigus selgus, et hoonete õhulekkearvu väärtused varieerusid vahemikul  $6,4 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  kuni  $16,9 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ . Kui õhulekkearvu alumine väärtus on veel rahuldav, siis ülemine on juba väga suur.

Hoonete tehnilist seisukorda hinnates sai ilmsiks tõsiasi, et parimas seisukorras on hoone 1 ning halvimas hoone 3. Füüsilise kulumise protsent on esimese hoone puhul 10,1. Teise hoonel 22,8 % ning kolmandal 32,1 %. Igal hoonel moodustas suurima osa kulumist vundamendi ja sokli seisukord. Lisaks sellele oli kõigil märkimisväärne kulumise protsent välisseinte, terrasside ja rõdude ning siseviimistluse real. Kõik ülejäänud oli juba hoonete väga erinev.

Hoonete tehnilise seisukorra parandamise osas esitatud ettepanekud sisaldasid sisekliima parendamiseks mõeldud näpunäiteid. Seda nii üldstatult kui ka hoonete kohta eraldi. Üldiselt tasub teha hoonetes soojusallikatele mõningat hooldust, esimese ja kolmanda hoone puhul õhutada radiaatoreid, teise hoone puhul on vaja radiaatoritega vähe rohkem tegeleda, vajalik võib olla ka kogu küttesüsteemi läbipesu. Samuti tuleks teises ja kolmandas hoones ühe esimese asjana käsile võtta välisseintes olevate uste vahetus.

Iga hoone kohta on eraldi esitatud seinakonstruktsiooni lisasoojustuse lõige. Samuti on toodud välja ka mõningad näpunäited seinakonstruktsiooni uuendamise ajal alles jääva osa inspekteerimiseks. Eraldi on välja toodud teise hoone laekonstruktsioon, kuna termografeerimisel selgus, et sealt lekib olulisel määral jahedat õhku. Kõik väljapakutud konstruktsioonide uuendusel on arvestatud Eestis Vabariigis ajavahemikus 22.01.2018 kuni 31.12.2018 kehtinud määrusega nr 55. Kõik väljapakutud konstruktsioonide arvutuslikud soojuslähivused jäid kehtinud määruse soovituslikku vahemikku.

Käesoleva lõputöö raames said hoonete elanikud vajaliku informatsiooni oma elamu kohta. Testide tulemusi tutvustati elanikele, räägiti nende põhjustest ning potentsiaalsetest tagajärgedest. Lisaks anti soovitusi ning näpunäiteid, kuidas ning mis järjekorras planeerida oma elupaigas edasised töid.



## KASUTATUD KIRJANDUS

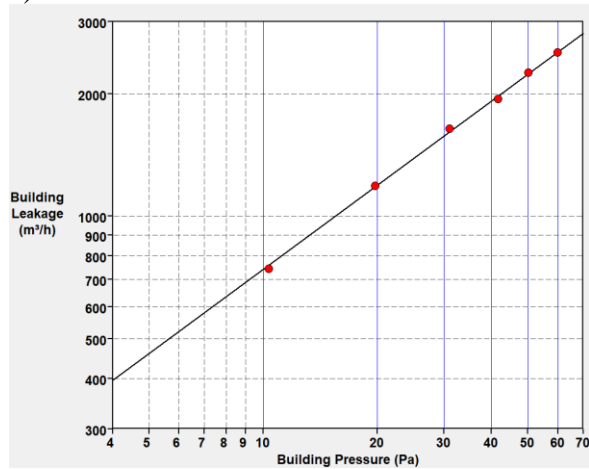
1. Abel, E., Voll, H., & Tark, T. (2014). Hoonete energiatarve ja sisekliima. Tallinn: Presshouse
2. Masso, T. (1990). Väikemajad. Tallinn: Valgus. 239lk
3. Kalamees, T., Alev, Ü., Arumägi, E., Ilomets, S., Just, A., & Kallavus, U. (2011). Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I. Tallinn.
4. **EVS-EN 15251:2007**. Sisekeskkonna algandmed hoone energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
5. Kosonen, R., Tan, F. (2004). Energy and Buildings 36. Assessment of productivity loss in airconditioned buildings using PMV index. lk 987–993.
6. Kõiv, T. A., Rant, A. (2013). Hoonete küte. 2. Tallinn. lk 404.
7. **EVS 839:2003**. Sisekliima. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
8. Tervisekaitseamet (s.a). Ruumiõhu sündroom. [veebileht] <https://www.terviseamet.ee/sites/default/files/ruumiohk.pdf> (04.05.2019)
9. Kalamees, T., Arumägi, E., Just, A., Kallavus, U., Mikli, L., Thalfeldt, M., Klõšeiko, P., Agasild, T., Liho, E., Haug, P., Tuurmann, K., Liias, R., Õiger, K., Langeproon, P., Orro, O., Välja, L., Suits, M., Kodi, G., Ilomets, S., Alev, Ü., Kurik, L. (2011). Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõpparuanne. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond.
10. Kalamees, T., Kõiv, T.-A., Liias, R., Õiger, K., Kallavus, U., Mikli, L., Ilomets, S., Kuusk, K., Maivel, M., Mikola, A., Klõšeiko, P., Agasild, T., Arumägi, E., Liho, E., Ojang, T., Tuisk, T., Raado, L.-M., Jõesaar, T. (2010) Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga Uuringu lõppraport. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond.
11. HOBO® U12 Temp/RH Data Logger (Part # U12-011). [võrgumaterjal] [https://www.onsetcomp.com/files/manual\\_pdfs/13127-A-MAN-U12011.pdf](https://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/13127-A-MAN-U12011.pdf) (01.05.2019)
12. **EVS-EN ISO 9972:2015** Hoonete soojuslik toimivus Hoonepiirete õhulekke määramine, Ventilaatoriga survestamise meetod. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
13. **EVS-EN ISO 13788:2012**. Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
14. Hutcheon, B. N., Handegord, O. B. G. (1995) Building Science for a Cold Climate. National Research Council of Canada. lk 440.
15. Paloniitty, S., Paloniitty, J., Hailmilahti, H., (2016) Termograafia ehituses. Tallinn. AS ET Infokeskuse. 140lk

16. **EVS-EN 13187:2001.** Thermal performance of buildings - Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes - Infrared method. Tallinn: Eesti Standardikeskus
17. Kalamees, T. (2006). Critical values for the temperature factor to assess thermal bridges. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*. lk 218 – 229 ([http://www.kirj.ee/public/va\\_te/eng-2006-3\\_1-6.pdf](http://www.kirj.ee/public/va_te/eng-2006-3_1-6.pdf)).
18. Minneapolis Blower Door 3. Minneapolis: The Energy Conservatory. [veebimaterjal] (<https://energyconservatory.com/wp-content/uploads/2017/08/All-Blower-Door-Guides.pdf>) (05.05.2019)
19. Hoonete füüsilise kulumise määramise tabelid. (1992). /Koost. AS Kommunaalprojekt. Kinnitas. Eesti Riiklik Elamuamet. 75 lk.
20. Maanteeamet. (2016). Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs. [veebimaterjal] ([https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/ma\\_16-00118\\_aruanne\\_.pdf?fbclid=IwAR0G3FioqhyB4mP1\\_wQN3Jd3ukGDKYwocMNRahXXPgM7\\_5dIXbMjKbztTJs](https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/ma_16-00118_aruanne_.pdf?fbclid=IwAR0G3FioqhyB4mP1_wQN3Jd3ukGDKYwocMNRahXXPgM7_5dIXbMjKbztTJs)) (12.05.2019)
21. Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika. Vabariigi valitsuse määrus nr. 58. (vastu võetud 05.06.2015, kehtiv alates 21.01.2019). – *Riigi teataja* (<https://www.riigiteataja.ee/akt/118012019012>) (26.04.2019).
22. Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi valitsuse määrus nr. 55. (vastu võetud 03.06.2015, kehtivuse lõpp 31.12.2018). – *Riigi Teataja* (<https://www.riigiteataja.ee/akt/119012018006>) (15.05.2019).
23. Peixoto de Freitas, V, Barreira, E. (2012) Fail\_heat, air and moisture transfer terminology parameters and concepts. Portugal.

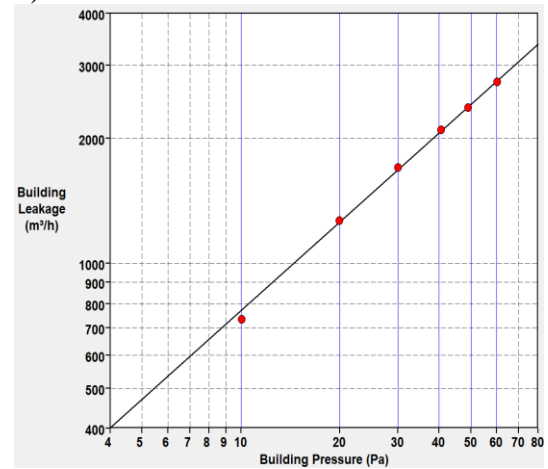
**LISAD**

## Lisa 1.

a)

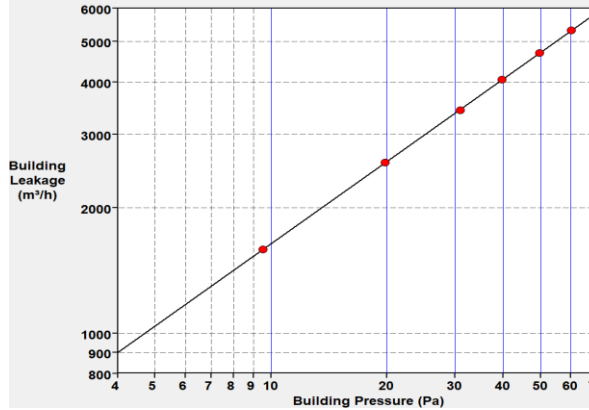


b)

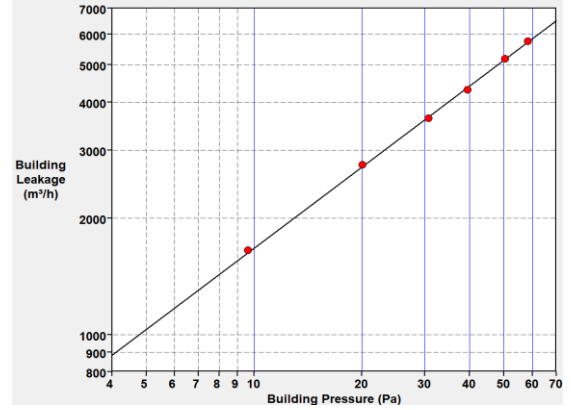


L1.2. Hoone 1 a) alarõhk; b) ülerõhk.

a)

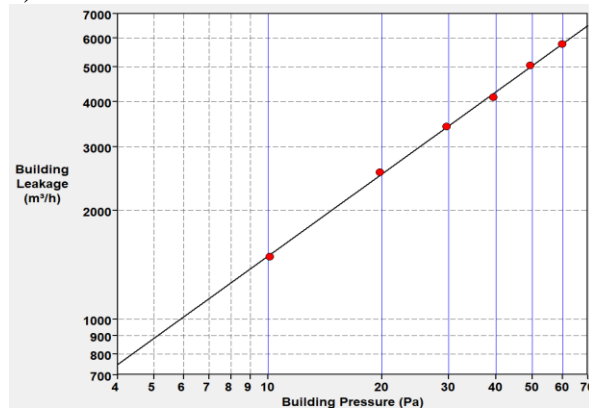


b)

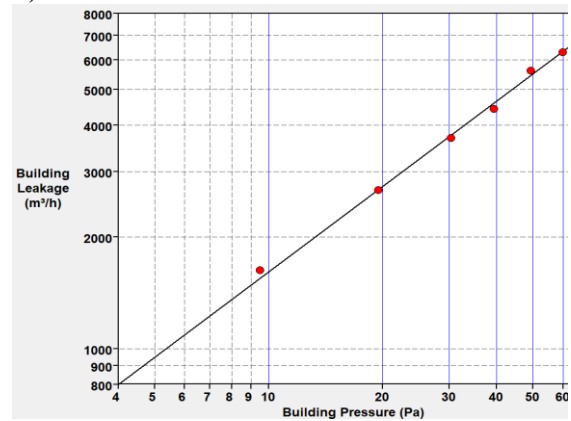


L1.2. Hoone 2 a) alarõhk; b) ülerõhk.

a)



b)



L1.3. Hoone 3 a) alarõhk; b) ülerõhk.

## Lisa 2

### L2.1. Hoone 1 füüsilise kulumi arvutus.

Hoone 1 arvutuskäik						
Jrk	Konstruktiivelement	Konstruktiivelemendi kirjeldus	Maksumuse osatähtsus [%]	Füüsiline kulum [%]	(m x f)	Kommentaar
1	Vundament/sokkel	Lintvundamet	10	30	300	Praod soklis, krohvi kahjustused
2	Välisseinad, terrassid, rõdud	Puitsõretikseinad, horisontaalne immutatud ning värvitud voodrilaud,	12	15	180	Väiksed päikese tekitatud kahjustused värvil, terrassilaud kulunud ning kohati vajab väljavahetamist, seinad vajavad lisasoojustust.
3	Siseseinad	Puitsõrestikseinad, mineraalvillatäidis	4	0	0	Märkimisväärsed kahjustused puuduvad
4	Vahelaed	Puitsõrestivahelagi	8	10	80	Õhulekked
5	Põrandad	Betoonopõrand 1 korrusel	9	10	90	Nagisevad kohati
6	Katusekonstruktsioon	Katusesarikad	10	0	0	Märkimisväärsed kahjustused puuduvad
7	Katusekate	Sindel	7	5	35	Katuse sammaldunud
8	Avatäited	Puitaknad, 2-kordne pakett	6	10	60	Akende tihendid kulunud
9	Küttesüsteem	Õlikatel	6	10	60	Leikib vinguhaisu
10	siseviimistlus	Voodrilaud, tapeet, värvitud kipsseinad, plaaditud vannitoad	10	20	200	Vanusest tekkinud kulumid, kohati tapeet toa nurkades katki, laeplaadid lahtised, liistud kohati lahti
11	Trepid	Puittrepp	3	0	0	Märkimisväärsed kahjustused puuduvad
12	Vesi-Kanal	Pvc-torud	5	0	0	Märkimisväärsed kahjustused puuduvad
13	Elektrivarustus	Süvistatud ja maaalused kaablid	4	0	0	Märkimisväärsed kahjustused puuduvad
14	Keskküte	Põrandakütte ja radiaatorid	6	1	6	Radiaatorid vajavad mõningast ülevaatamist
15	Muud tööd	-	-	-	-	
		<b>Kokku</b>	100	-	1011	
		<b>Hoone füüsiline kulum Fk</b>	<b>10,11</b>			

**L2.3. Hoone 2 füüsilise kulumi arvutus.**

<b>Hoone 2 arvutuskäik</b>						
<b>Jrk</b>	<b>Konstruktivelement</b>	<b>Konstruktivelemendi kirjeldus</b>	<b>Maksumuse osatähtsus [%]</b>	<b>Füüsiline kulum [%]</b>	<b>(m x f)</b>	<b>Kommentaar</b>
1	Vundament/sokkel	Lintvundamet	10	75	750	Vundament - hüdroisolatsioon, läbiviigud tihendada soojustada
2	Välisseinad, terrassid, rõdud	Puitsõretikseinad, immutatud ja värvitud voodrilaud,	12	15	480	Vajab mõningast värskendamist
3	Siseseinad	Puitsõrestikseinad, mineraalvillatäidis	5	0	0	Märkimisväärsed kahjustused puuduvad
4	Vahelaed	Puitsõrestivahelagi	8	30	240	Õhulekked pööningu vahelae talade juures,
5	Põrandad	Soojustatud puitpõrand	9	40	360	Tuleks väliseinte ääres horisontaalselt soojustada, põrandalaudist võib uuesti kasutada.
6	Katusekonstruktsioon	Katusesarikad	10	0	0	Märkimisväärsed kahjustused puuduvad
7	Katusekate	Sindel	7	5	35	Vajab mõningast puhastamist
8	Avatäited	metallraamiga 2-kordne pakett	6	25	150	akende tihendid vahetada, kohati kahjustunud, peauks kui ka terrassi uks vajavad vahetust.
9	Küttesüsteem	puitkatel	6	0	0	Märkimisväärsed kahjustused puuduvad
10	siseviimistlus	Voodrilaud, tapeet, värvitud kipsseinad, plaaditud vannitoad,	12	20	240	Kohati amortiseerunud, liistud lahti, lae viimistlusplaadid lahti
11	Trepid	-	0	0	0	-
12	Vesi-Kanal	pvc torud	5	0	0	Märkimisväärsed kahjustused puuduvad
13	Elektrivarustus	Süvistatud ja maaalused kaablid	4	1	4	Hoonesse tulev kaabeldus nõuetekohasel paigaldada
14	Keskküte	Radiaatorid	6	3	18	Radiaatorid vajavad tõsisemat ülevaatamist
15	Muud tööd	-	-	-	-	
		<b>Kokku</b>	100	-	2277	
		<b>Hoone füüsiline kulum Fk</b>	<b>22,77</b>			

**L2.3. Hoone 3 füüsilise kulumi arvutus.**

<b>Hoone 3 arvutuskäik</b>						
<b>Jrk</b>	<b>Konstruktivelement</b>	<b>Konstruktivelemendi kirjeldus</b>	<b>Maksumuse osatähtsused [%]</b>	<b>Füüsiline kulum [%]</b>	<b>(m x f)</b>	<b>Kommentaar</b>
1	Vundament/sokkel	Betoonplokkidest vundament	14	60	840	Vundamendile teha hüdroisolatsioon, läbiviigud tihendada, soojustleda ning viimistleda.
2	Välisseinad, terrassid, rõdud	Puitsõretikseinad, vertikaalne immutatud ning värvitud voodrilaud,	13	40	520	Vajab lisasoojustamist ning välisvoodri värskendamist.
3	Siseseinad	Puitsõrestikseinad, mineraalvillatäidis	4	40	160	Karkass tugev, helipidavus halb
4	Vahelaed	keldri vahelagi rb paneelid, pööningu vahelagi puitkarkass	7	30	210	Vajab lisasoojustamist
5	Põrandad	Põrandalaud	8	40	320	laudis renoveerimist, võiks ka soojustada.
6	Katusekonstruktsioon	Katusesarikad	10	0	0	Märkimisväärsed kahjustused puuduvad
7	Katusekate	Eterniit	5	5	25	Vajab mõningast puhastamist
8	Avatäited	metallraamiga 2-kordne pakett	6	25	150	Akna ümbruste õhulekked, keldriuks vahetada.
9	Küttesüsteem	puitkatel	5	0	0	Märkimisväärsed kahjustused puuduvad
10	Siseviimistlus	Voodrilaud, tapeet, värvitud kipsseinad, plaaditud vannitoad,	10	80	800	Siseviimistlus täielikult amortiseerunud. Põrandalauad taastatavad
11	Trepid	-	3	0	0	Keldrisse viiv trepp pole küll visuaalselt ilus, kuid puudub vajadus seda uuendada.
12	Vesi-Kanal	pvc torud	5	10	50	Torude läbiviigud vaja õhutihedaks teha
13	Elektrivarustus	Süvistatud ja maaalused kaablid	4	10	40	Majasisesed kaablid amortiseerunud
14	Keskküte	Radiaatorid	6	15	18	Radiaatorid vajavad mõningast ülevaatamist
15	Muud tööd	-	-	-	-	
		<b>Kokku</b>	100	-	3205	
		<b>Hoone füüsiline kulum Fk</b>	<b>32,05</b>			

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning  
juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Mikk Kütt, sünniaeg 03.10.1994,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö „Taasiseseisvunud Eesti ajal (1991-2007) ehitatud puitkarkasselamute seisukord ja renoveerimise võimalused“, mille juhendaja on Martti-Jaan Miljan,
  - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
  - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
  - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemisekskuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

\_\_\_\_\_

allkiri

Tartu, 3.06.2019

---

**Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)